

# **VIHERREVONHÄNTÄ JA KANANHIRSSI VIERASLAJEINA SUOMESSA**

Saara Kinnunen

Maisterintutkielma

Helsingin yliopisto

Maataloustieteiden laitos

Agroekologia

Toukokuu 2011

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden laitos	
Tekijä — Författare — Author Saara Kinnunen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Viherrevonhätä ja kananhirssi vieraslajeina Suomessa			
Oppiaine — Läroämne — Subject Agroekologia			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterintutkielma	Aika — Datum — Month and year Maaliskuu 2011	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 61	
<p>Tiivistelmä — Referat — Abstract</p> <p>Kasvit ovat kautta aikojen levinneet uusille elinpaikoille. Kasvin asettumista uuteen paikkaan voidaan tarkastella prosessina, jossa on erilaisia vaiheita ja eri vaiheissa eri tekijät ovat tärkeitä. Ilmasto ja erityisesti lämpötila vaikuttavat kasvien levinneisyyteen ja leviämiseen uusille paikoille ja siksi ilmaston lämpenemisen ennustetaan siirtävän kasvien levinneisyysalueita kohti pohjoista. On mahdollista, että Suomeenkin leviäisi etelämmästä muiden kasvien ohella haitallisia rikkakasvilajeja, kuten esimerkiksi viherrevonhätä (<i>Amaranthus retroflexus</i> L.) ja kananhirssi (<i>Echinochloa crus-galli</i> L. Beauv.).</p> <p>Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, selviävätkö viherrevonhätä ja kananhirssi Suomessa pelto-olosuhteissa ja pohtia niiden vakiintumisen ja leviämisen mahdollisuuksia. Toinen tarkoitus oli selvittää ilmaston lämpenemisen vaikutusta näiden rikkakasvien kasvuun. Tutkimus suoritettiin kenttä- sekä kasvihuonekokeena.</p> <p>Viherrevonhätä kasvoi pellolla hyvin huolimatta myöhäisestä itämisestä, mutta kananhirssi iti ja kasvoi pellolla huonosti. Kasvihuoneessa molemmat kasvoivat hyvin. Kilpailu vähensi viherrevonhännän ja kananhirssin vegetatiivista kasvua vain kasvihuoneessa, mutta siementuottoon kilpailu vaikutti sekä kasvihuoneessa että pellolla. Kasvihuoneessa korkeampi lämpötila ei vaikuttanut viherrevonhännän tai kananhirssin vegetatiiviseen kasvuun, mutta viherrevonhännän siementuotto parani lämpimämmässä. Lämpötilalla ei ollut vaikutusta kananhirssin siementuotantoon.</p> <p>Tutkimuksen tuloksista voidaan päätellä, että viherrevonhätä voi hyvinkin kasvaa Suomessa jo nykyisissä lämpötiloissa, mutta siementuotto ei välttämättä olisi varmaa. Viherrevonhätä voisi näin ollen hyötyä tulevaisuuden pidemmästä kasvukaudesta. Kananhirssin osalta tulokset olivat ristiriitaiset ja ilmaston lämpenemisen vaikutuksia kananhirssiin on tämän tutkimuksen perusteella hankala arvioida.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Viherrevonhätä, <i>Amaranthus retroflexus</i> , kananhirssi, <i>Echinochloa crus-galli</i> , vieraslajit, invaasio, ilmastomuutos, C4			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Maataloustieteiden laitos ja Viikin kampuskirjasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Työn ohjaaja: Terho Hyvönen, Juha Helenius			

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author Saara Kinnunen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Redroot pigweed and barnyard grass as alien plants in Finland			
Oppiaine — Läroämne — Subject Agroekology			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year March 2011	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 61
<p>Tiivistelmä — Referat — Abstract</p> <p>Plants have always invaded to new locations. The invasion can be seen as a process that has several stages and in every stage different factors can be important. Climate and especially temperature affects on plant distribution and invasion and therefore climate change is predicted to shift plant distributions further north. As a consequence of climate change some harmful weeds, like redroot pigweed (<i>Amaranthus retroflexus</i> L.) and barnyard grass (<i>Echinochloa crus-galli</i> L. Beauv.), from southern regions could also spread to Finland.</p> <p>The aim of this study was to investigate the survival and growth of redroot pigweed and barnyard grass in field conditions in Finland and try to predict their establishment success and possible spread. Weeds were grown with maize in the field and in the greenhouse. Also the effect of climate warming was tested in the greenhouse.</p> <p>Redroot pigweed grew well in the field, despite its late emergence, but barnyard grass germinated and grew poorly. In the greenhouse they both grew well. Competition reduced the vegetative growth of redroot pigweeds and barnyard grass in greenhouse and it reduced seed production both in the field and in the greenhouse. In greenhouse, higher temperature did not cause any effects on the vegetative growth of redroot pigweed or barnyard grass, but redroot pigweed produced more seeds in the warmer temperature. Warmer temperature had no effect on barnyard grasses seed production.</p> <p>These results suggest that redroot pigweed could survive even in present climate conditions in Finland, but the seed production might be less certain. Redroot pigweed would probably benefit from the longer growing season of future. The results of barnyard grass were mixed and nothing certain can be said about its behavior in the future climate.</p>			
<p>Avainsanat — Nyckelord — Keywords</p> <p>Redroot pigweed, <i>Amaranthus retroflexus</i>, barnyard grass, <i>Echinochloa crus-galli</i>, alien plants, plant invasion, climate change, C4</p>			
<p>Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited</p> <p>Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library</p>			
<p>Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information</p> <p>Supervisor: Terho Hyvönen, Juha Helenius</p>			



## Sisällys

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>2</b>
1.1 Termistö.....	2
1.2 Invaasion teoriaa.....	3
1.2.1 Invaasioprosessin vaiheet .....	3
1.3 Ilmaston rooli .....	4
1.4 Rikkakasvit vieraslajeina .....	6
1.5 Viherrevonhätä ja kananhirssi .....	7
1.6 Suomen ilmasto nyt ja tulevaisuudessa.....	9
<b>2 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET .....</b>	<b>10</b>
<b>3 AINEISTO JA MENETELMÄT .....</b>	<b>10</b>
3.1 Kenttäkoe .....	10
3.1.2 Koeasetelma .....	10
3.1.2 Kokeen suoritus .....	11
3.1.3 Sääaineisto .....	13
3.2 Kasvihuonekoe .....	14
3.2.1 Koeasetelma .....	14
3.2.2 Kokeen suoritus .....	15
3.3 Taimettumiskoe.....	16
3.4 Tilastollinen testaus.....	16
<b>4 TULOKSET .....</b>	<b>17</b>
4.1 Taimettuminen kenttäkokeessa .....	17
4.1.1 Viherrevonhätä.....	17
4.1.2 Kananhirssi .....	18
4.2 Vegetatiivinen kasvu.....	19
4.2.1 Viherrevonhätä.....	19
4.2.2 Kananhirssi .....	22
4.3 Kukinta.....	25
4.3.1 Viherrevonhätä.....	25
4.3.2 Kananhirssi .....	25
4.4 Siemenet.....	26
4.4.1 Viherrevonhätä.....	26
4.3.2 Kananhirssi .....	29
4.5 Rikkakasvien vaikutus maissien kasvuun .....	32
4.6 Taimettumiskoe.....	33
<b>5 TULOSTEN TARKASTELU .....</b>	<b>34</b>
5.1 Taimettuminen .....	34
5.2 Vegetatiivinen kasvu.....	36
5.3. Herbisidikäsittelyn vaikutus.....	39
5.4 Kukinta ja siemenet .....	40
5.5 Leviämisen mahdollisuudet? .....	42
5.6 Ilmaston lämpenemisen vaikutus .....	43
5.7 Kokeen onnistuminen ja luotettavuus.....	45
<b>6 JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>46</b>
<b>7 KIITOKSET .....</b>	<b>47</b>
<b>8 LÄHTEET .....</b>	<b>47</b>

# 1 Johdanto

Kasvit ovat kautta aikojen levinneet uusille elinpaikoille (ks. esim. Pysek 2005, Davis & Shaw 2001 ja Pykälä 1998). Kasvien leviämistä sääntelevät tietyt lainalaisuudet. Uuteen paikkaan päätyntä ei-kotoperäistä kasvia kutsutaan joko vieras- tai tulokaslajiksi. Tulokaslaji on levinnyt omin avuin, kun taas vieraslaji ihmisen mukana. Jotta uusi laji voisi asettua pysyvästi uuteen paikkaan sekä levitä ja kasvattaa populaationsa kokoa siellä, sen on selvitävä erilaisista uuden ympäristön asettamista haasteista (Richardson ym. 2000). Ilmaston lämmetessä monien kasvien ilmastollisesti sopivat elinalueet siirtyvät kohti pohjoista ja siksi Suomeenkin saattaa levitä etelämpää uusia kasvilajeja (Bakkenes ym. 2002, Thuillier ym. 2005), joiden joukossa voi olla myös haitallisia rikkakasvilajeja (Hyvönen ym. 2011, Patterson 1995), kuten esimerkiksi kananhirssi ja viherrevonhätä. Kasvien leviämisen tavanomaiset ”säännöt” ovat kuitenkin voimassa ilmaston muuttuessakin.

## 1.1 Termistö

Kuten edellä todettu, vieraslaji on uuteen paikkaan ihmisen avustuksella levinnyt ei-kotoperäinen laji. Vieraslajin tuloa ja asettumista uuteen paikkaan voidaan kutsua invaasioksi ja se voidaan nähdä erilaisia vaiheita käsittävänä prosessina (esim. Catford ym. 2009). Richardsonin ym. (2000) mukaan invaasio tarkoittaa nimenomaan vieraslajin leviämistä uudessa paikassa ja sen populaatiokoon kasvamista – mutta invaasiolla ei tarvitse olla mitään ekologisia tai ekonomisia vaikutuksia. Invaasio-termien merkitys eri tutkimuksissa voi olla hyvinkin poikkeava – usein invaasiolla tarkoitetaan vieraslajien sellaista leviämistä uudella paikalla, että siitä on havaittavaa haittaa ja jopa vaaraa paikallisella luonnolla tai ekonomisia vaikutuksia (Richardson ym. 2000). Tässä tutkimuksessa invaasiosta puhutaa lähinnä prosessina ja tutkimuksen kohteena ovat varsinaisesti invaasio-prosessin alkuvaiheet – kasvien selviytyminen, populaatioiden vakiintuminen ja leviämisen mahdollisuus (vaiheet Catford ym. 2009 mukaan). Toinen tärkeä termi on siemenpaine tai leviäinpaine (engl. *propagule pressure*), jolla tarkoitetaan tässä tutkimuksessa Lockwoodin ym. (2009) mukaisesti uuteen paikkaan saapuvien tietyn lajin siementen tai muiden elämis- ja lisääntymiskykyisten kasvinosien määrää ja myös saapumiskertojen määrää. Useissa tutkimuksissa siemenpaine voi tarkoittaa myös uuteen paikkaan saapuvien lajien määrää, vaikka Lockwood ym. (2009) kehottaakin käyttämään tästä nimitystä

kolonisaatiopaine. Koska monet invaasio-tutkimukset käsittelevät kaikkia lajeja – kasveja ja eläimiä ym. yhdessä, propagule pressure voi tarkoittaa myös esim. eläinyksilöitä.

## 1.2 Invaasion teoriaa

Invaasion onnistumiseen vaikuttavista tekijöistä on esitetty monta erilaista teoriaa. Catford ym. (2009) ovat luoneet eri tekijöistä ja teorioista mallin, jonka avulla kasvien leviämistä uusille alueille voidaan tarkastella. Mallissa vaikuttavat tekijät on jaettu kolmeen ryhmään: siemenpaineeseen (propagule pressure), abioottisiin tekijöihin ja bioottisiin tekijöihin. Bioottisiin tekijöihin kuuluvat kasvin omat ja vastaanottavan kasvinyhteisön ominaisuudet. Eri tekijöillä on myös vuorovaikutussuhteita toisiinsa ja eri tekijöillä voi olla erisuuret vaikutukset esimerkiksi kasvilajista tai invaasioprosessin vaiheesta riippuen. Kunkin tekijän tulee myös olla sopiva, jos ei suosiollinen, jotta invaasiota tapahtuisi (Catford ym. 2009).

### 1.2.1 Invaasioprosessin vaiheet

Kasvien leviäminen ja menestyminen uusilla paikoilla on portaittainen prosessi (Richardson ym. 2000). Tässä vaiheet ja niihin vaikuttavat tekijät on esitetty Catford ym. (2009) mukaan (ks. myös Colautti & MacIsaacs 2004). Ensimmäisessä ja toisessa vaiheessa – kulkeutuminen vanhasta paikasta ja saapuminen uuteen paikkaan – tärkeää on siemenpaine (Catford ym. 2009).

Siemenpaine, siementen kulkeutuminen uuteen paikkaan on edellytys kasvien invaasiolle ja monet tutkijat pitävät sitä mahdollisesti eniten vieraslajin menestykseen vaikuttavana tekijänä (esim. Crawley ym. 1996, Colautti ym. 2006). Useilla kasveilla on myös kyky säilyä maassa siemeninä useita vuosia ja siten kasvattaa siemenpankkia – tätä voisi myös pitää eräänlaisena siemenpaineena, jonka merkitys voi olla suurikin paljon siemeniä tuottavilla lajeilla. Paikalle saapuvien lajien suuri määrä lisää todennäköisyyttä, että joukossa on menestykselliseen invaasioon kykenevä laji (Lockwood ym. 2005).

Kolmannessa invaasioprosessin vaiheessa kasvin pitää selviytyä –eli itää ja kasvaa uudessa ympäristössä. Selviytymisvaiheessa jatkuva siemenpaine auttaa populaatiota pysymään paikalla, vaikka yksittäinen kasviyksilö ei joka vuosi selviytyisikään

(Richardson ym 2002, Lockwood ym. 2005). Jatkuva muualta tulevien siementen määrä auttaa myös paikallista populaatiota lisäämään geneettistä diversiteettiään ja siten sopeutumaan paremmin uusiin oloihin (Lockwood ym. 2005).

Neljännessä eli vakiintumisvaiheessa kasvin pitää pystyä tuottamaan itämiskykyisiä siemeniä vakituisesti uudessa paikassa. Kasvilajin omat ominaisuudet ovat merkitseviä selvitymis- ja vakiintumisvaiheissa (Crawley ym. 1999). Useiden menestyksekkäiden tulokaslajien on havaittu olevan kasvustrategialtaan ns. ruderaaleja (Rejmánek & Richardson 1996), joiden ominaisuuksia ovat mm. nopea kasvu, runsas siementuotto ja sopeutuminen erilaisilla häirityillä paikoilla kasvamiseen (Grime 1988). Baker (1965) ehdottaa, että joillakin kasveilla olisi erityinen ”yleispätevä genotyyppi”, joka olisi auttanut näitä kasveja valloittamaan monenlaisia ympäristöjä ja että tällaisia ominaisuuksia löytyy erityisesti rikkakasveilta. Levittäytymistä tukevia ominaisuuksia olisi Bakerin (1965) mukaan mm. että kasvi pystyy itämään ja kasvamaan, ja tuottamaan siemeniä monenlaisissa olosuhteissa sekä itse- ja /tai tuulipölytyksellä. On myös havaittu, että tietyissä kasviheimoissa on heimon kokoon nähden paljon invasiivisiksi luokiteltuja lajeja (Pyšek 1998). Olemassa oleva kasviyhteisö kilpailee tulokkaan kanssa eri vaiheissa eri tavalla: taimen ja aikuisen kasvin välisessä kilpailussa voitolle voi päästä eri laji kuin taimi-taimi kilpailussa (Crawley ym. 1999).

Jos vieraskasvi läpäisee nämä vaiheet, sen on mahdollista alkaa kasvattamana populaationsa kokoa ja levittäytymään alkuperäisestä uudesta paikasta kauemmaksi – eli muuttua invasiiviseksi lajiksi. Invasiivisuudessa tärkeää ei ole ainoastaan siementen itäminen kauempana emokasvista, vaan myös niiden kyky tuottaa itämiskykyisiä jälkeläisiä (Richardson ym. 2000). Tässä vaiheessa taas siemenpaineen merkitys lisääntyy. Leviämisvaiheessa kasvi saattaa aiheuttaa haitallisia vaikutuksia paikallisessa luonnossa, tai sillä saattaa olla taloudellisia vaikutuksia, kuten vierasrikkakasveilla.

### **1.3 Ilmaston rooli**

Myös vastaanottavan paikan ominaisuudet ovat tärkeitä invasioprosessin selviytymis- ja vakiintumisvaiheessa (Catford ym. 2009). Tietynalaisissa elinympäristöissä on havaittu olevan enemmän vieraskasveja kuin muualla, esimerkiksi teiden varsilla ja viljellyillä pelloilla (Crawley ym. 1996, Jauni & Hyvönen 2010, Vila ym. 2007, Chytry ym. 2008) ja näitä alueita pidetäänkin helpoimmin invasoituvina paikkoina (Chytry ym.



2008). Näitä alueita luonnehtii se, että ne ovat toistuvasti häirittyjä paikkoja ja niillä on usein paljon resursseja (Chytry ym. 2008). Häiriöiden rooli voi olla yksinkertaisuudessaan jo siinä, että se luo tyhjää tilaa vieraslajin asettua paikalleen (Catford ym. 2009, ks. myös Jauni & Hyvönen 2010) ja vapauttaa resursseja, kuten ravinteita kasvien käyttöön (Davis ym. 2000). Häiriöt myös vähentävät aikuisten kasvien määrää ja siten kilpailua vieraskasvien taimien ja aikuisten alkuperäisten kasvien välillä (Crawley ym. 1999, Davis ym. 2000).

Habitaatin ohella ilmastolla on selviytymis- ja vakiintumisvaiheessa merkitsevä rooli. Ilmasto säätelee kasvien levinneisyyttä (esim. Hyvönen ym. 2011, Collins & Jones 1985, Prentice ym. 1992, Thuillier ym. 2005, Teeri ja Stove 1976, Woodward 1988) ja se voi sulkea tietynlaiset lajit kokonaan pois – esimerkiksi pakkasta sietämättömät lajit talvisilta alueilta (Woodward & Williams 1987, Crawley ym. 1996, Long 1983). Ilmaston kasvien levinneisyyttä kontrolloivaa mekanismia ei välttämättä vielä tunneta (Woodward & Williams 1987), mutta on huomattu, että tietyt ilmaston tunnusluvut korreloivat hyvin kasvien levinneisyyden kanssa. Erityisesti lämpötilan tai sen eri komponenttien on havaittu ennustavan kasvien levinneisyyttä hyvin – esimerkiksi heinäkuun minimilämpötila C4 ruohojen levinneisyyttä Amerikassa (Teeri ja Stowe 1976) tai kasvukauden lämpösumma vieraslajien yleisyyttä boreaalisella vyöhykkeellä (Jauni & Hyvönen 2010). Kasvin elinkierron eri vaiheissa eri tekijät voivat olla merkitseviä: itämisvaiheessa kevään lämpötilat merkitsevät, siementen tuottoon vaikuttaa kasvukauden lämpösumma.

Kasvien nykyisen levinneisyyden perusteella voidaan ennustaa kasvien leviämistä uusiinkin paikkoihin, sillä kasvit leviävät helpoiten samankaltaisesta ilmastosta toiseen (Crawley ym. 1996 ja ks. Panetta ja Mitchell 1991 ja Chicoine ym. 1985). Kasvit, joilla on laaja luontainen levinneisyys näyttäisivät usein olevan menestyksekkäitä invasiivisia lajeja (Goodwin ym. 1999). Laaja luontainen levinneisyys osoittaa, että kasvit ovat sopeutuneet kasvamaan monenlaisissa oloissa. Toisaalta kasvien nykyinen levinneisyys voi antaa vääriä käsityksiä, sillä välttämättä kaikki lajit eivät ole vielä levinneet kaikkiin sietämiinsä olosuhteisiin (Pearson & Dawson 2003 ja ks. esim. Panetta ja Mitchell 1991) tai levinneisyyttä sopiville alueille ovat rajoittaneet esimerkiksi bioottiset tekijät (Pearson & Dawson 2003). Ilmaston vaikutusta kasvien leviämiseen on katsottu myös kasvin fysiologian kannalta: millaisia olosuhteita kukin kasvi sietää (esim. Prentice ym. 1992). Tämä metodi vaatii paljon tietoa kasvin fysiologiasta ja toisaalta sen heikko

kohta voi olla, että eri populaatioilla voi olla toisistaan poikkeavat sietävyysrajat (Pearson & Dawson 2003).

Kasvien levinneisyyden selittäminen ja ennustaminen ilmaston avulla jättää huomiotta monia seikkoja, kuten esimerkiksi kasvien väliset suhteet, mutta sen avulla kuitenkin voidaan ennustaa kasvien potentiaalista leviämistä suuressa mittakaavassa (Pearson & Dawson 2003). Ilmaston muutoksen ennustetaan siirtävän kasvien levinnesyyttä kohti koillista (Bakkenes ym. 2002). Ilmastonmuutoksen vauhti on kuitenkin niin nopea, että kasvit tuskin ehtivät kulkeutua uusille paikoille yhtä nopeasti – siksi ilmaston lämpenemisestä nopeiten hyötyvät jo paikalla olevat satunnaiset vieraslajit (Neilson 2005).

## 1.4 Rikkakasvit vieraslajeina

Rikkakasvit ovat aina seuranneet viljelykasvien mukana uusille alueille (Pykälä 1998, Roy ym. 2000, Pysek ym. 2005). Eurooppaan ennen 1500-lukua tulleet rikkakasvit näyttäsivät viihtyvän paremmin vanhempien viljelykasvien, kuten viljojen seurassa, kun taas uudemmat viljelykasvit – maissi ja rapsi – ovat saaneet seurakseen myös uudempiä vieraslajeja (Pysek ym. 2005). Rikkakasvien levinneisyyteen vaikuttaa viljelykasvin ohella (Schroeder ym. 1993, Haas & Streibig 1982) myös lannoitus, herbisidiiden käyttö ja maan muokkaustavat – jotka ovat riippuvaisia viljelykasvista (Haas & Streibig 1982). Ilmasto vaikuttaa myös maatalouden rikkakasvien levinneisyyteen (Hyvönen ym. 2011), vaikkakin usealla rikkakasvilla on lähes maailmanlaajuinen levinneisyys, esimerkkeinä jauhosavikka, *Chenobodium album* L. ja pelto-ohdake *Cirsium arvense* L. (ks. Holm 1977).

Rikkakasvien helppo leviäminen paikasta toiseen tekee niistä erityistapauksen vieraslajien joukossa. On havaittu, että tietynlaiset lajit kulkeutuvan paikasta toiseen paremmin kuin toiset; tämä koskee erityisesti tarkoituksella siirrettyjä lajeja (Colautti ym. 2006), mutta esimerkiksi tien vierillä esiintyvät lajit kulkeutuvat muita helpommin (von der Lippe & Kowarik 2007). Siten voisi olettaa, että maatalouteen liittyvät lajit kulkeutuvat myös maataloustuotteiden ja koneiden mukana paikasta toiseen helpommin kuin ”luonnon” lajit. Tästä voi syntyä vaikutelma, että vieraslajeina menestyvät tietynlaiset lajit ja tietynlaiset paikat ovat helpoiten invasoituissa – vaikka todellisuudessa olisikin kyse vain siemenpaineen suuruudesta (Colautti ym. 2006 – tosin

ks. Chytry 2008). Maatalouden rikkakasvien ympärillä tapahtuu siis paljon liikennettä ja ne päätyvät helposti pellolta pellolle - olosuhteisiin, joihin ne ovat jo etukäteen sopeutuneet. Rikkakasvi yhdessä paikassa on usein sitä myös uudessa paikassa (Crawley ym. 1996, Maillet & Lopez-Garzia 2000). Lisäksi, koska monet rikkakasvit ovat levinneet lähes maailman laajuisesti, niillä on suuri todennäköisyys kulkeutua uusiinkin paikkoihin – ja suuri todennäköisyys olla esisopeutuneita uuteen paikkaan (ks. Goodwin 1999). Monien luonnonlajien leviämistä rajoittaa elinympäristöjen pirstaleisuus – esimerkiksi metsien välissä olevat maatalousympäristöt (Pitelka ym. 1997, Higgins ym. 2003) – mikä kääntäen tarkoittaisi, että maatalouteen sopeutuvilla rikkakasveilla olisi taas helpommin löydettävissä uusi sopiva elinympäristö. Kaiken lisäksi ruderaaleille, joita suurin osa rikkakasveista on, on ominaista suuri siementuotto (Grime 1988).

Toisaalta, maatalouden rikkakasveista ei todennäköisesti ole haittaa luonnon ympäristöissä – ovathan ne sopeutuneet vain avoimilla runsasravinteisilla paikoilla kasvamiseen (Grime 1988, Rejmánek & Richardson 1996, Odum ym. 1994). Maatalouden yhteydessä vieraslajit tulevat kenties myös nopeammin havaituksi ja helpommin torjutuksi.

## 1.5 Viherrevonhätä ja kananhirssi

Tämän tutkimuksen kohteena on kaksi laajalle levinnyttä hankalaa rikkakasvia – viherrevonhätä (*Amaranthus retroflexus* (L.) ja kananhirssi (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.). Ne ovat rikkakasveja, jotka Holm ym. (1977, 1997) ovat listanneet maailman pahimpien rikkakasvien joukkoon. Molemmilla on historiaa vieraslajeina: viherrevonhätä on kotoisin Pohjois-Amerikasta (Sauer 1967) ja on nykyään yleinen Euroopassa (Jalas ym. 1972-1996), kananhirssi on kotoisin Euraasiasta (Holm ym. 1977) ja sitä tavataan nykyään yleisesti Pohjois-Amerikassa (The PLANTS Database, USDA, 2010). Molemmat ovat levinneet Pohjois-Amerikassa seuduille, jossa on suunnilleen samantyyppiset kesälämpötilat kuin Etelä-Suomessa (The PLANTS Database, USDA, 2010 ja Studia Maailmankartasto 1996). Euroopassa molemmat olivat kymmenen yleisimmän rikkakasvin joukossa mm. hedelmä- ja viinitarhoissa ja puutarhoissa, vihanneksilla, perunalla, maissilla ja sokerijuurikkaalla, mutta ei viljoilla tai rapsilla (Schroeder ym. 1993). Etelämmässä ne voivat vaivata mm. banaania ja sitrushedelmiä ja kananhirssi erityisesti riisiä (Holm ym. 1977, 1997).

Kananhirssi ja viherrevonhätä aiheuttavat suuria, (20-80 %) sadonalennuksia mm. perunan (Vangessel & Renner 1990), maissin (Knezevic ym. 1994, Bosnic & Swanton 1997) ja sokerijuurikkaan viljelyssä (Heidari ym. 2007, Dawson 1965). Kananhirssi ja viherrevonhätä ovat tehokkaita kilpailijoita myös muita rikkakasveja vastaan (Kroh & Stephenson 1980, Roush & Radosevich 1985, Spitters ym. 1989). Viherrevonhätä on myös tehokas vedenkäyttäjä (Shantz & Piemeisel 1927), kun taas kananhirssi on kilpailukykyisempi märissä olosuhteissa (Wiese & Vandiver 1970). Molemmat lajit ovat herkkiä varjostukselle (Clay ym. 2005, McLachlan ym. 1993a ja b).

Erityisen hankaliksi rikkakasveiksi viherrevonhännän ja kananhirssin tekee se, että molemmille on kehittynyt resistenssi useampia herbisidejä vastaan useammassa maassa (Heap 2009 ja ks. esim. Ferguson ym. 2001, Warwick & Weaver 1980, Talbert & Burgos 2007). Viherrevonhantaa voidaan torjua melko hyvin useimmilla tavallisille kaksisirkkaisille yksivuotisille tarkoitetuilla herbisidiilla (Costea ym. 2004, Sweat ym. 1998). Kananhirssin torjuntaan Pohjois-Amerikassa suositelluista aineista löytyy lista esimerkiksi Purduen yliopiston rikkakasvitieteen sivustolta (2010) samoin Saskachewanin osavaltion maataloussivustolta (2010). Osaa näistä aineista, kuten atrasiinia tai parakvattia, ei ole sallittua käyttää Suomessa (Tukes 2011). Glyfosaatti ja glufosinaatti tehoavat viherrevonhantaa ja kananhirssiin (Krausz ym. 1996, Coetzer ym. 2002, Norris 2001). Tässä tutkimuksessa käytetyn herbisidien, rimsulfuronin, on raportoitu tehoavan viherrevonhantaa ja kananhirssiin (Swanton ym. 1996, Auskalniene & Auskalnis 2006, Eberlein ym. 1994, Blackshaw ym. 1995, Hutchinson ym. 2004). Viherrevonhännän ja kananhirssin torjuntaa hankaloittaa se, että ne voivat taimettua läpi kasvukauden (esim. Baskin & Baskin 1977, Weaver & McWilliams 1980, Keeley & Thullen 1989).

Viherrevonhätä ja kananhirssi itävät ja kasvavat parhaiten melko korkeassa lämpötilassa, noin 30 °C:ssa (ks. esim. viherrevonhätä McWilliams ym. 1968, Oryokot ym. 1997 ja kananhirssi Holm ym. 1977, Swanton 2000), mutta ne voivat taimettua ja kasvaa hyvin myös alhaisemmissa lämpötiloissa (McWilliams ym. 1968, Weaver 1984, Charest & Potvin 1993). Wiese ja Binning (1987) laskivat kasvun ja kehityksen kynnyslämpötilaksi viherrevonhännälle 10 °C ja kananhirssille 9,7 °C. Molemmat tarvitsivat Kanadan Ontariossa noin 1000-1200 astetta lämpösummaa (> 5 °C) kypsien siementen tuottamiseen (Shrestha & Swanton 2007). Viherrevonhätä ja kananhirssi

ovat fakultatiivisia lyhyen päivä kasveja (Huang ym. 2000, Holm ym. 1997, Maun & Barrett 1986, Swanton ym. 2000, Vengris ym. 1966).

Viherrevonhätä ja kananhirssi ovat C4-fotosynteesireitin omaavia kasveja, jollaisia ei Suomessa juurikaan tavata (Collins & Jones 1985). Black (1969) luokitteli useat C4-kasvit tehokkaiksi rikkakasveiksi ja suurin osa Holmin ym. (1977 ja 1997) listaamista maailman pahimmista rikkakasveista onkin C4-kasveja. Euroopassa suuri osa C4-kasveista oli luokiteltu ruderaaleiksi (Collins & Jones 1985). C4-fotosynteesireitti saattaisi siis tehdä nämä kasvit erityisen kilpailukykyisiksi maatalousympäristöissä. Nykyisessä ilmastossa C4-kasvien levinneisyys korreloi korkeiden lämpötilojen kanssa kasvukaudella (esim. Collins & Jones 1985, Teeri ja Stove 1976) ja Long (1983) on esittänyt, että C4-kasvit olisivat poissuljettu alueilta, joilla kiivaimman kasvun aikaan minimilämpötila jäisi alle 8-10 °C. Ilmaston lämpenemisen ennustetaan hyödyttävän eritoten C4-kasveja (Patterson & Flint 1980).

## 1.6 Suomen ilmasto nyt ja tulevaisuudessa

Koeppen-Geigerin luonnonmaantieteellisen ilmastoluokituksen mukaan Suomi kuuluu lumiseen ja kosteaan ilmastovyöhykkeeseen, jossa kesät ovat lämpimiä ainoastaan eteläisimmässä Suomessa ja viileitä muualla Suomessa (Kottek 2006). Vuotuinen lämpötila eteläisessä Suomessa on 4-5 astetta (Ilmatieteen laitos 2010). Kesän keskilämpö on 14-16 °C ja lämpimintä on heinäkuussa (Ilmatieteen laitos 2010). Kasvukausi, jolloin lämpötila kohoaa pysyvästi yli 5 °C, alkaa eteläisessä Suomessa toukokuun alussa ja kasvukautta kestää lokakuun loppupuolelle asti (Ilmatieteen laitos 2010). Viime vuosisadalla vuotuinen lämpötila on jo kohonnut 0,7 °C, ja eniten lämpenemistä, 1,4 °C, on tapahtunut keväällä (Jylhä ym. 2004). Tämä on näkynyt mm. siinä, että kevätkylvöt ovat aikaistuneet (Carter 1998, Kaukoranta & Hakala 2008) ja lämpösummakertymä noussut (Peltonen-Sainio ym. 2009). Tulevaisuudessa kevään ennustetaan lämpenevän vuoteen 2040 mennessä noin 2 °C ja kesän noin 1 °C (Jylhä ym. 2004). Kaudella 2040-2069 kevään ja kesän lämpötilojen ennustetaan kohoavan 3-5 °C ja 2-3 °C riippuen päästöskenaariosta ja ilmastomallista (Jylhä ym. 2004). Tämän ennustetaan aikaistavan kevättä jopa kahdella viikolla ja kerryttävän lämpösummaa Etelä-Suomessa noin 1400-1500 kumulatiivista vuorokausiastetta vuosisadan puoleenväliin mennessä (Peltonen-Sainio ym. 2009).

Eteläisessä Suomessa vuotuinen sademäärä on keskimäärin noin 180-220 mm, mutta sateita tulee eniten syksyllä ja talvella, keväällä ja alkukesästä on kuivinta. Kasvukauden aikana sadetta kertyy noin 340-370 mm (Ilmatieteenlaitos 2010). Sateisuudessa on lisäksi suuret vuosittaiset vaihtelut (Ylhäsi ym. 2010). Sadannan ei ennusteta kasvavan paljoakaan (Jylhä ym. 2004, Ylhäsi ym. 2010), ja erityisesti keväällä se voi jopa vähentyä, ennusteen vaihdellessa mallista riippuen (Jylhä ym. 2004).

## **2 Tutkimuksen tavoitteet**

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää voisivatko kaksi C4-rikkakasvia, viherrevonhätä ja kananhirssi, kasvaa Suomen olosuhteissa. Erityisesti tavoitteena oli saada tietoa siitä, miten nämä lajit menestyvät pelto-oloissa, sekä siitä, voisiko tulevaisuuden lämpimämpi ilmasto parantaa näiden lajien menestymistä. Tulosten perusteella pohditaan lajien mahdollisuuksia vakiintua ja levitä vieraslajina sekä menestyä peltojen rikkakasvina Suomessa ilmastonmuutoksen myötä. Tavoitteena on saada tietoa viherrevonhännän ja kananhirssin taimettumisesta, kasvusta ja siementuotannosta. Maissi valittiin tutkimukseen viljelykasviksi, koska sen viljelyn ennustetaan yleistyvän ilmaston lämmetessä (Peltonen-Sainio ym. 2009). Myös maissi on C4-kasvi.

## **3 AINEISTO JA MENETELMÄT**

Tutkimus toteutettiin kolmena kokeena: kenttäkokeena avomaalla, kasvihuonekokeena sekä pienimuotoisena taimettumiskokeena.

### **3.1 Kenttäkoe**

#### **3.1.2 Koeasetelma**

Kenttäkoe suoritettiin kesällä 2009 Jokioisilla Kanta-Hämeessä (N 6747766 E 308821), lähellä MTT:n Jokioisten tutkimuslaitosta. Kokeen ympäristö oli avointa peltomaisemaa, lukuun ottamatta noin 50 m päässä idän puolella ollutta metsää. Lohko oli kynnety edellisenä syksynä ja äestetty kerran ennen kylvöä.

Taulukko 1. Kenttäkokeen koeasetelma

Tekijä	Tasot
Rikkakasvi	Viherrevonhänkä Kananhirssi
Kasvustotyyppi	Avokesanto Maissikasvusto
Herbisidikäsittely	Ei ruiskutusta Ruiskutus

Koeasetelma oli täydellisesti satunnaistettujen lohkojen monitekijäkoe. Koejäsenet muodostettiin kolmen koetekijän tasojen kombinaatioina ja satunnaistettiin lohkoittain (Taulukko 1). Lohkoja oli neljä (=toistot) ja jokaisessa lohossa oli kahdeksan koealaa. Koealojen koko oli 3×6 m. Koealat olivat joko lannoittamattomana avokesantona tai niihin kylvettiin maissi. Kunkin koealan keskelle perustettiin varsinaiset koeruudut, kooltaan 2,0×0,5 m, joihin rikkakasvit kylvettiin. Koeruudut sijoitettiin koealoille poikittain niin, että maissia kasvavilla koealoilla koeruudussa oli kolme maissiriviä.

Kokeessa tutkittiin kahden tekijän, kasvustotyyppin ja herbisidikäsittelyn vaikutusta viherrevonhännän ja kananhirssin kasvuun. Kasvustotyyppit olivat maissikasvusto ja avokesanto, ja molemmat kasvustotyyppit joko käsiteltiin herbisidillä tai ei käsitelty (Taulukko 1). Kukin kasvusto-olosuhde vallitsi ja herbisidikäsittely tehtiin koko koealalle, jotta rikkakasvit, jotka kasvoivat koeruudun reunassa, eivät kokisi erilaisia olosuhteita kuin koeruudun keskellä kasvaneet rikkakasvit.

### 3.1.2 Kokeen suoritus

Tutkimuksessa käytetyt viherrevonhännän siemenet oli kerätty Etelä-Ruotsista (55°45′ N; 13°19′ E) syksyllä 2004 ja niitä oli kasvatettu kesällä 2008 ulkoilmassa Jokioisissa, joista saatiin siemenet tähän kokeeseen. Kananhirssin siemenet oli hankittu Herbiseed-nimisestä yrityksestä ([www.herbiseed.com](http://www.herbiseed.com)) Englannista. Rikkakasvit kylvettiin 28. ja 29.5. Viherrevonhännän ja kananhirssin kylvötiheys oli 54 siementä/m<sup>2</sup>. Kylvötiheys oli noin kolminkertainen tavoiteltuun rikkakasvitiheyteen nähden ja tarkoitus oli kitkeä ylimääräiset rikkakasvit pois itämisen jälkeen. Siemenet kylvettiin maissirivien suuntaisesti kuuteen riviin, 3×3 siementä jokaiseen riviin. Rikkakasvien etäisyydeksi rivissä oli suunniteltu 25 cm ja riviväliksi 50 cm, maissikasvustoissa rikkakasvien etäisyys maissiriviin oli 25 cm. Todennäköisesti varsinkin viherrevonhännän siemeniä

kylväytyi hiukan ylimääräisiä, koska sen siemenet ovat niin pieniä. Siemenet kylvettiin noin 1 cm syvyyteen.

Maissi kylvettiin 25.6. Sen kylvössä käytettiin tavallista viljan kylvökonetta. Maissin riviväli oli 75 cm ja kasvien väli 20 cm. Siemenet kylvettiin noin 5 cm syvyyteen. Käytetty kylvökone ei ollut optimaalinen maissin kylvöön, sillä vantaat menivät usein tukkoon ja toisaalta paikoin maisseja tuli liian tiheään. Osa siemenistä jäi myös alle 5 cm syvyyteen. Kylvön yhteydessä annettiin myös mineraalilannoite (Pellon Y4<sup>®</sup>, valmistaja YaraMila) maissia kasvaville koealoille. Pääravinnemäärät olivat N 100 kg/ha, P 14 kg/ha ja K 43 kg/ha.

Kesän aikana koeruuduilta kitkettiin muut kilpailevat rikkakasvit monta kertaa. Koska sää oli hyvin kuiva kesäkuun alussa, ruutuja jouduttiin kastelemaan. Kerralla koeruuduille annettiin kastelukannulla 1-5 litraa vettä/ruutu (vastaa 1-5 mm sademäärää), kaikille ruuduille sama määrä. Yhteensä vettä annettiin 19,5 litraa/ruutu. Pellolla käytiin useaan kertaan laskemassa viherrevonhöntien ja kananhirssien määrä.

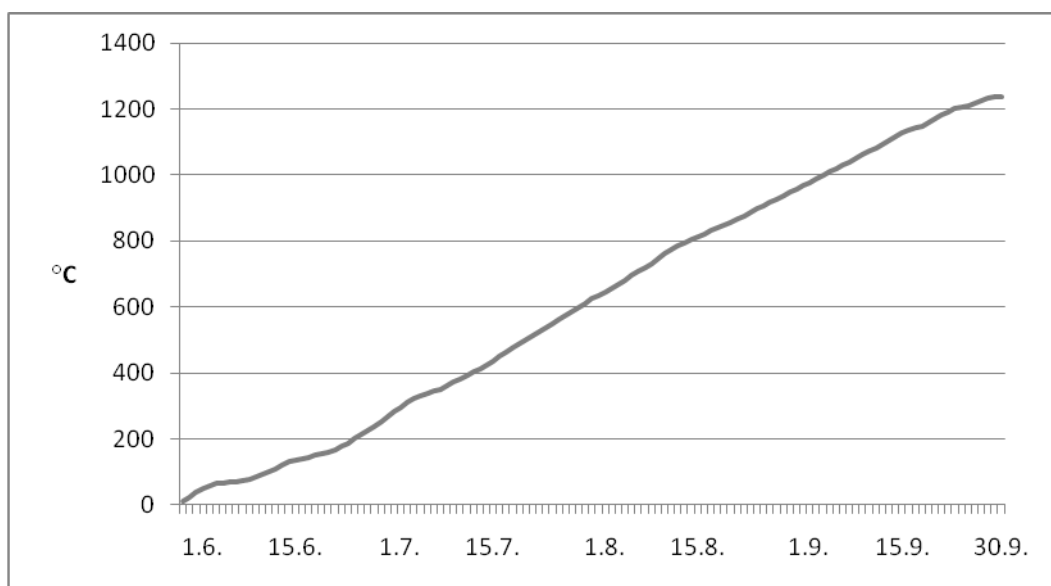
Herbisidiella käsiteltävät ruudut käsiteltiin 2.7., kun maissi oli 4-6 lehtiasteella. Itäneet kananhirssit ja viherrevonhännät olivat tuolloin 2-4 lehtiasteella, kuten suositellaan, mutta muut rikat olivat jo isompia. Herbisidinä käytettiin Titus<sup>®</sup>-valmistetta (valmistaja Berner), jonka tehoaine on rimsulfuroni. Titus on tarkoitettu rikkakasvien torjuntaan mm. perunalla ja maissilla, ja valmistajan mukaan se tehoaa rikkakasveihin "matarasta juolavehnään". Tässä tutkimuksessa Titusta käytettiin 45g/ha ja vettä 200l/ha. Ruiskutus tehtiin 3 m leveällä käsiruiskulla, jota kantamaan tarvittiin kaksi ihmistä.

Koe lopetettiin 30.9., jolloin maissien lukumäärä koeruudulla laskettiin ja kaikki koeruudulla kasvaneet maissit kerättiin kankaisiin säkkeihin. Rikkakasvien pituus mitattiin pellolla. Viherrevonhöntien pituus mitattiin päävarren latvasta tyvelle ja kanahirssin pituus korkeimman version tähkästä tyveen. Pituus ei kerro, kuinka korkealle maasta kasvi kasvoi, koska osa kasveista kasvoi hyvinkin lakoavasti. Kananhirsseistä laskettiin versojen ja tähkien määrä. Kananhirssit ja viherrevonhännät kerättiin paperisiin pusseihin. Kasvit kuivatettiin kuivurissa. Kuivaamisen jälkeen kasvit punnittiin. Maissit ja rikkakasvit punnittiin ensin tähkineen, sitten rikkakasveista irrotettiin, laskettiin ja punnittiin siemenet. Vain kypsän näköiset siemenet laskettiin, viherrevonhänniltä mustat ja pyöreät ja kananhirsseiltä täysinäiset siemenet.

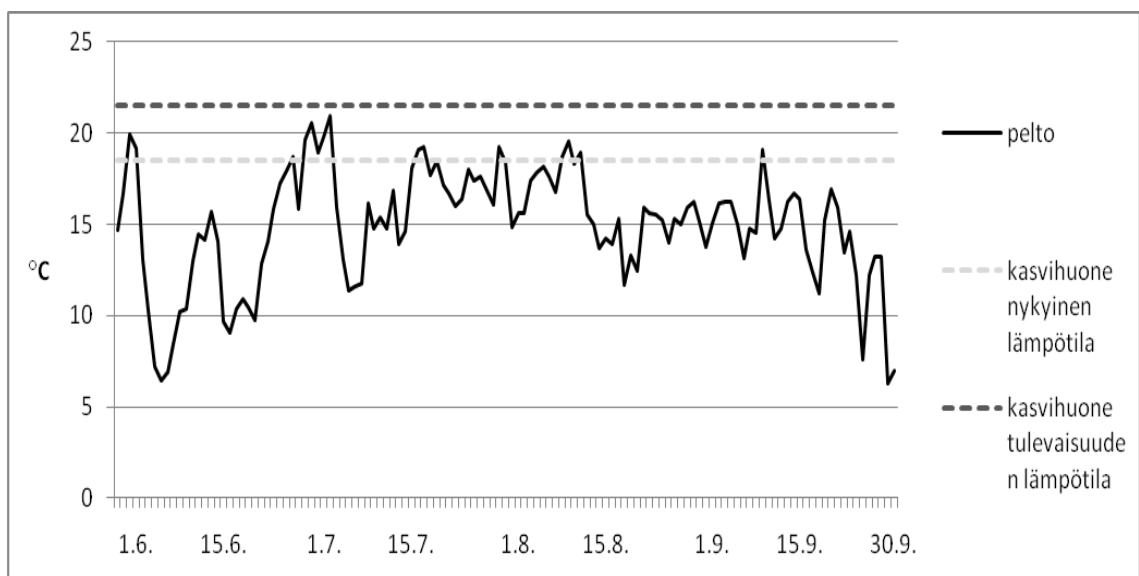


### 3.1.3 Sääaineisto

Kesän sääaineisto on peräisin noin 50 metrin päässä metsän reunassa olleesta pienestä lämpötilaa havainnoivasta ja tallentavasta sääasemasta. Tämä asema sammui kuitenkin 8.9. ja siitä eteenpäin lämpötilatiedot ovat peräisin noin kilometrin päässä olleilta kahdelta sää-asemalta, joiden mittaamista lämpötiloista otettiin keskiarvo, sillä toinen asema oli kylmässä laaksossa ja toinen lämpimässä aurinkoisessa paikassa. Lämpösumma laskettiin laskemalla yhteen vuorokausien keskilämpötilat vähennettyinä 5 °C. Lämpösumman laskeminen aloitettiin kokeen kylvöstä.



Kuva 1. Lämpösumman kehitys pellolla kylvöstä kokeen loppuun



Kuva 2. Kesän keskilämpötilat kasvihuoneissa ja pellolla kylvöstä kokeen loppuun.

## 3.2 Kasvihuonekoe

### 3.2.1 Koeasetelma

Kasvihuonekokeessa tutkittiin kahden eri lämpötilan, Suomen nykyisen ja ennustetun tulevaisuuden kesän keskilämpötilan vaikutusta viherrevonhännän ja kananhirssin kasvuun ja siementuottoon. Kasvihuonekokeessa tutkittiin myös tarkemmin maissin kanssa kilpailun vaikutusta rikkakasvien kasvuun. Kasvihuoneessa rikkakasvit ja maissit kasvoivat ruukuissa ja kussakin ruukussa kasvoi yksi rikkakasvi yksin tai yhden, kahden tai neljän maissin kanssa (Taulukko 2). Kokeen ulkopuolelle sijoitettiin lisäksi kontrollimaissit ilman rikkakasveja. Kontrollimaissia oli kaksi ruukussa.

Koe suoritettiin Jokioisissa, MTT:n kasvihuoneessa (N 6747061 E 308576). Kokeessa oli neljä perättäistä huonetta, joista kahdessa oli nykyinen ja kahdessa tulevaisuuden lämpötila. Nykyisen lämpötilan huoneissa lämpötila oli päivisin (klo 04-22) 20 °C ja öisin (klo 22-04) 10 °C. Lämpötila vastaa Jokioisten mittausaseman kesäkuukausien (kesä-heinäkuu) pitkäaikaisten (1971-2000) minimi- ja maksimilämpötilojen keskiarvoja (Drebs ym. 2002). Tulevaisuuden lämpötilan huoneissa lämpötila oli päivisin (klo 04-22) 23 °C ja öisin (klo 22-04) 13 °C eli kolme astetta nykyistä korkeampi, joka vastaa ilmastoskenaarioiden ennusteita vuosille 2040-2069 (Jylhä ym. 2004). Valona huoneissa oli vain luonnonvalo.

Taulukko 2. Koeasetelma kasvihuoneessa

Tekijä	Tasot
Rikkakasvi	Viherrevonhännä Kananhirssi
Kilpailu	Ei maissia Yksi maissi Kaksi maissia Neljä maissia
Lämpötila	Tulevaisuuden lämpötila Nykyinen lämpötila

Kussakin huoneessa oli neljä 120 x 160 cm pöytää ja kullakin pöydällä kahdeksan ruukkua. Ruukut olivat tilavuudeltaan 5 litraa (halkaisija pohjasta 17 cm ja ylhäältä 20,5 cm, korkeus 16,5 cm). Kasvualustana oli seos jossa oli 2/3 turvetta (Kekkilän kylvöseos) ja 1/3 hienoa hiekkaa. Pöydillä oli kaksi riviä ruukkuja, jokaisessa rivissä

neljä ruukkua ja jokaisella pöydällä siis kaikki kahdeksan käsittelyä. Käsittelyjen sijainti pöydällä oli arvottu. Kontrollimaissit kasvoivat samanlaisessa ruukussa ja kasvualustassa kuin koekasvitkin (kaksi maissia ruukussa). Ne oli sijoitettu pöytien päähän lattialle, noin 15 cm korkeuteen.

### 3.2.2 Kokeen suoritus

Maissit ja viherrevonhännät ja kananhirssit kylvettiin 29.5. Rikkakasvit kylvettiin ruukun keskelle, melko pintaan. Kananhirssin siemeniä laitettiin kolme, viherrevonhännän siemeniä ei laskettu koska ne olivat niin pieniä. Siementen alkuperä oli sama kuin kenttäkokeessa. Maissien etäisyys toisistaan oli 10-14 cm riippuen maissien määrästä ja etäisyys rikkakasveista 7 cm. Ruukkujen välinen etäisyys pöydällä oli 26 cm.

Ennen kylvöä ruukut oli kasteltu hyvin ja kokeen edetessä kasveja kasteltiin tarpeen mukaan. Nykyisen lämpötilan huoneissa ja niissä ruukuissa missä kasvoi vain rikkakasvi, tarve oli alkuun vähäisempää. Loppukesästä ruukkuja kasteltiin kaksi kertaa viikossa; ensimmäisellä kastelukerralla 500 ml ja toisella 300 ml vettä. Kasveja lannoitettiin säännöllisesti kerran viikossa (alkukesästä harvemmin) 300 ml lannoiteliuoksella, jossa 100g lannoitetta/51 l vettä (N-P-K: 14-5-21%). Kesän aikana kasvit saivat lannoitetta määrän, joka vastaa noin 4,8 kg N/ha. Mikäli rikkakasvit eivät itäneet, ne korvattiin saman ikäisillä taimilla, jotka olivat kasvaneet samassa kasvihuoneessa.

Koe purettiin 28. ja 29.9. Rikkakasvien ja maissien pituus mitattiin, samoin kananhirssin tähkien ja versojen määrä. Rikkakasvien pituus mitattiin samalla tavalla kuin pellolla. Kasvit ja kasvinosat kerättiin paperipussiin ja kuivattiin kuivurissa samoin kuin pellolla kasvaneet. Kuivaamisen jälkeen kasvit punnittiin. Rikkakasveista irrotettiin siemenet ja ne laskettiin ja punnittiin. Kananhirsseille oli kokeen kuluessa laitettu tähkän ympärille silkkipaperista kauluksia, jotta varisevat siemenet saatiin talteen.

### 3.3 Taimettumiskoe

Kesällä 2010 testattiin kenttäkokeessa kasvaneiden viherrevonhöntien ja yhden kananhirssiyksilön siementen taimettumista. Koeala sijaitsi Helsingin Malminkartanossa, Helsingin yliopiston palsta-alueella (N 6681346 E 382132).

Siemenet kylvettiin 12.6. Siemenet olivat peräisin kenttäkokeen kesannolla tai maissikasvustossa kasvaneiden yksilöiden siemenistä. Samalla ruudulla kasvaneiden viherrevonhöntien siemenet yhdistettiin, ja niistä laskettiin 200 siementä/ruukku, yhteensä neljään ruukkuun per käsittely. Kesanossa ja herbisidi-käsittelyn saaneista kasveista vain kolmella yksilöllä oli siemeniä, joten kaikki eri ruuduilla kasvaneiden yksilöiden siemenet yhdistettiin, tällöin siemeniä riitti 200 siementä kahteen ruukkuun. Maissikasvustossa ja herbisidi-käsittelyssä kasvaneista viherrevonhännistä vain yksi kasvi tuotti yhden ainoan siemenen, joten se ei ollut mukana kokeessa. Kananhirsseistä käytettiin vain sen kasviyksilön siemeniä, joka tuotti 140 siementä vuonna 2009. Vertailun vuoksi kolmeen ruukkuun kylvettiin lisäksi samoja Englannista peräisin olevia kananhirssin siemeniä, jotka olivat mukana vuoden 2009 kenttäkokeessa. Kananhirssin siemeniä oli 80/ruukku.

Viherrevonhännän siemenet kylvettiin 2 dl kokoisiin ruukkuihin ja kananhirssin siemenet noin 1,5 dl kokoisiin ruukkuihin. Ruukkujen pohjassa oli viisi noin 0,5 cm halkaisijaltaan olevaa reikää. Ruukut kaivettiin maahan koko syvyydeltään. Kokeen aikana siemeniä ei kasteltu. Taimettuneet laskettiin noin kerran viikossa ja taimet nypittiin pois.

### 3.4 Tilastollinen testaus

Koska kenttäkokeessa kananhirssit taimettuivat huonosti, ne jätettiin testauksen ulkopuolelle ja niistä saatua aineistoa tarkasteltiin vain kuvailevasti. Viherrevonhännän osalta kenttäkokeen aineisto analysoitiin kaksisuuntaisella varianssianalyysillä. Mallissa testattiin kasvuston ja torjunnan vaikutus erikseen ja kasvuston ja torjunnan yhdysvaikutus. Lohko oli satunnaisena tekijänä mallissa. Mitatuista muuttujista laskettiin koeruutukohtainen keskiarvo, koska ruuduilla kasvoi hyvin eri määrä kasveja ja hajonta oli melko suurta. Tällöin kunkin eri koejäsenen  $n=4$ , paitsi maissikasvusto + herbisidikäsittely  $n=3$ . Aineistolle jouduttiin tekemään lukuisia muunnoksia, jotta

varianssien yhtäsuuruusoletukset saataisiin kohdalleen. Kenttäkokeessa viherrevonhätien painolle, siementen kokonaispainolle ja siementen lukumäärälle tehtiin neliöjuurimuunnos ja yhden siemenen keskipaino korotettiin toiseen potenssiin. Kaikki kuvat ja taulukot ovat muuntamattomasta aineistosta.

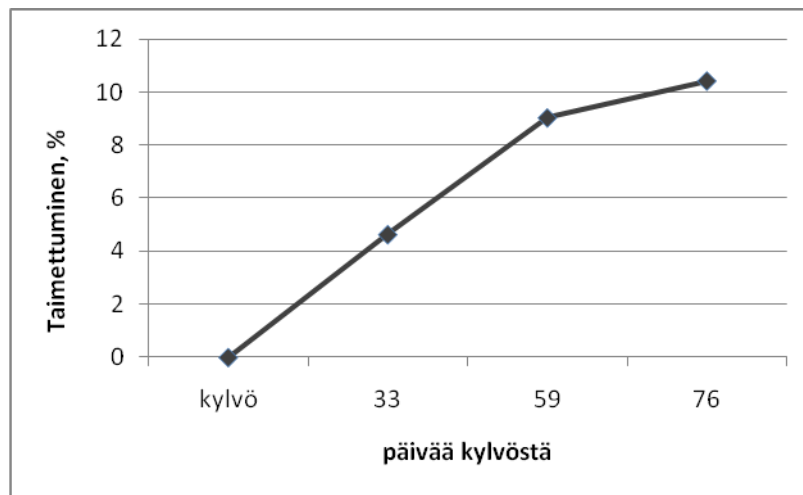
Kasvihuoneaineisto testattiin viherrevonhännälle ja kananhirssille erikseen, koska ei oltu kiinnostuttu selvittämään kasvien välisiä eroja ja koska yhdessä testaten aineiston normaalisuus ja varianssien yhtäsuuruusoletukset olisivat olleet vaikeat saattaa muunnoksillakaan kohdalleen. Aineisto analysoitiin kaksisuuntaisella varianssianalyysillä. Mallissa kiinteinä tekijöinä olivat kilpailu maissin kanssa ja lämpötila sekä satunnaisina tekijöinä lämpötilalle sisäkkäinen huone ja pöytä. Jos huone osoittautui merkitseväksi tekijäksi, sitä tarkasteltiin lähemmin, jättämällä lämpötila mallista pois, jotta saatiin selville, mitkä huoneet erosivat toisistaan. Jos taas huone osoittautui ei-merkitseväksi, se jätettiin mallista pois, jotta päästiin lähemmin tarkastelemaan lämpötilan ja kilpailu-käsittelyn yhdysvaikutuksia. Muuttujille jouduttiin tekemään muunnoksia, jotta aineisto saataisiin vastaamaan menetelmän normaalisuus- ja varianssien yhtäsuuruusoletuksia. Viherrevonhätien ja kananhirssien painolle tehtiin neliöjuurimuunnos, samoin kananhirssin versojen määrälle. Viherrevonhännän siementen lukumäärälle ja siementen kokonaispainolle tehtiin log-muunnos. Siementen kokonaispainon keskiarvot on laskettu vain niistä, jotka tuottivat siemeniä, nolla siementä tuottaneita ei huomioitu. Kananhirssin siementen kokonaispaino korotettiin 0,2 potenssiin. Kaikki kuvat ja taulukot ovat muuntamattomasta aineistosta. Kaikki aineistot testattiin PASW-ohjelmalla, versio 18.

## **4 TULOKSET**

### **4.1 Taimettuminen kenttäkokeessa**

#### **4.1.1 Viherrevonhätä**

Viherrevonhännän siemeniä kylvettiin kenttäkokeessa yhteensä 864 ja niistä taimettui kaikkiaan 90 kasvia, taimettuminen oli siis noin 10%. Alkuperäistä suunnitelmaa, että kasveja olisi kitketty haluttuun tiheyteen 15 kasvia/ruutu, piti tässä vaiheessa muuttaa, koska siemenet taimettuivat paljon huonommin kuin oli ennakoitu. Millekään ruudulle ei taimettunut yli 15 kasvia, joten kaikkien taimettuneiden annettiin kasvaa.



Kuva 3. Viherrevonhännän taimettuminen kenttäkokeessa 2009.

Ensimmäiset varmat taimettuneet kasvit havaittiin 23.6., mutta niitä oli vain muutama. Suurin osa kasveista taimettui viidestä yhdeksään viikossa kylvön jälkeen. Heinäkuun alkuun (1.7.) mennessä viherrevonhännästä oli taimettunut 40 ja 23.7. mennessä oli taimettunut 37 kasvia lisää (Kuva 3). Heinäkuun lopusta elokuun puoliväliin taimettui yhdeksän uutta viherrevonhännää ja syyskuun puolenvälin jälkeenkin taimettui vielä kolme viherrevonhännää. Yhden kasvin kenties oli joku eläin katkaissut. Taimettumisessa ei ollut eroja sen suhteen kasvoivatko viherrevonhännät maissikasvustossa vai kesannossa ( $p > 0,05$ ).

Herbisidikäsittely 2.7. tappoi 60 % taimettuneista viherrevonhännistä (13 viherrevonhännää 22:sta). Osa näistä tosin kuoli lopullisesti vasta elokuun puoleen väliin mennessä. Kokeen lopussa viherrevonhännästä oli yhteensä 76, joista 65 oli herbisidikäsittelmättömillä ruuduilla ja 11 herbisidikäsittellyillä ruuduilla (joista 2 oli taimettunut herbisidikäsittelyn jälkeen).

#### 4.1.2 Kananhirssi

Pellolla kananhirssit taimettuivat hyvin huonosti; vain 2 % siemenistä taimettui. Yhdeksän kasvia taimettui heinäkuun alkuun mennessä ja kahdeksan heinäkuun loppuun mennessä, kaksi kasvia taimettui vielä syksymmällä. Kaikki herbisidiella käsitellyt kananhirssit kuolivat. Kokeen lopussa kananhirssejä oli 11 tai 12; yksi kasvi hävisi pellolla ehkä jonkun eläimen viemänä.

## 4.2 Vegetatiivinen kasvu

### 4.2.1 Viherrevonhätä

Kesannossa kasvaneet viherrevonhännät olivat pellolla silmämääräisesti vähän lyhyempiä kuin kasvihuoneessa, toisaalta pellolla kasvaneet olivat ”tukevamman” oloisia ja leveämpiä ja silmämääräisesti vähän painavampia (Taulukko 4 ja 6). Pellolla viherrevonhännien pituus vaihteli melko suuresti; pisin kasvi oli 114 cm, lyhyimmät olivat vain muutaman sentin mittaisia. Viherrevonhännän pituudessa ei ollut eroja kesannon ja maissikasvustossa kasvaneiden välillä (Taulukko 3). Herbisidikäsitteily puolestaan vaikutti pituuteen (Taulukko 3) ja herbisidikäsitellyt olivat lyhyempiä kuin herbisidiä saamattomat viherrevonhännät (Taulukko 4). Kasvuston ja herbisidikäsitteilyn yhdysvaikutuksia ei ollut (Taulukko 3).

Kasvusto vaikutti viherrevonhännien painoon (Taulukko 3): maissikasvustossa kasvaneet viherrevonhännät olivat kevyempiä kuin kesannossa kasvaneet (Taulukko 4). Ilman maissia ja torjuntaa kasvaneista kasveista suurin kasviyksilö painoi 150 g, mutta samassa käsittelyssä oli myös pieniä, alle gramman painoisia kasveja. Painavin herbisidikäsitteilyn saanut kasvikin painoi 51,6 g. Maissin kanssa kasvaessaan viherrevonhännän paino ei ylittänyt 20 g, ilman maissin kilpailua ja herbisidikäsitteilyä kasvaessaan kaksi viherrevonhännää painoi yli 100 g ja useat painoivat lähelle 100 g. Herbisidikäsitteily ei vaikuttanut maissien painoon, eikä kasvuston ja herbisidikäsitteilyn yhdysvaikutuksiakaan ollut (Taulukko 3).

Taulukko 3. Viherrevonhätä: Kenttäkokeesta mitattujen käsittelykeskiarvojen erojen tilastollinen merkitsevyys. (F-arvot ja tilastollinen merkitsevyys: \*\*\*= $p<0,001$ , \*\*= $p<0,01$ , \*= $p<0,05$ , ns=ei merkitsevä).

Muuttuja	kasvusto	herbisidi	kasvusto*herbisidi
Pituus	0,3ns	10,6*	0,7ns
Paino	10,4*	5,2ns	0,4ns
Siementen lukumäärä	14,7**	48,3***	5,2ns
Siementen kokonaispaino	20,6**	52,4***	0,7ns
Siemenen keskipaino	1,8ns	2,8ns	0,6ns

Taulukko 4. Viherrevonhännän kasvu ja siementuotanto kenttäkokeessa, jossa se kasvoi joko avokesannossa tai maissikasvustossa ja joko ilman herbisidikäsittelyä tai käsiteltynä. (Keskiarvot ja keskihajonnat, n=8, paitsi herbisidikäsittely n=7).

Muuttuja/Käsittely	Kasvusto		Herbisidi	
	Kesanto	Maissi	Herbisidi	Ei-herbisidiä
Kasvitiheys kpl/m <sup>2</sup>	4,9	5,3	1,6	8,1
Pituus (cm)	45,1	42,2	25,9	59,4
<i>keskihajonta</i>	<i>22,7</i>	<i>22,1</i>	<i>20,6</i>	<i>12,4</i>
Paino (g)	30,4	4,3	10,5	25,0
<i>keskihajonta</i>	<i>23,8</i>	<i>20,7</i>	<i>18,7</i>	<i>23,2</i>
Siementen lukumäärä	1244,8	337,2	66,4	1481,7
<i>keskihajonta</i>	<i>1293,1</i>	<i>1362,5</i>	<i>112,5</i>	<i>1132,3</i>
Siementen kokonaispaino (g)	1,1	0,3	0,1	1,1
<i>keskihajonta</i>	<i>1,0</i>	<i>1,1</i>	<i>0,1</i>	<i>0,9</i>
Siemenen keskipaino (mg)	0,5	0,4	0,3	0,5
<i>keskihajonta</i>	<i>0,2</i>	<i>0,2</i>	<i>0,3</i>	<i>0,1</i>

Kasvihuoneessa kilpailu vähensi viherrevonhöntien pituutta merkitsevästi (Taulukko 5); parittaisissa vertailuissa yksin kasvaneet viherrevonhännät olivat pidempiä kuin muut ( $p < 0,001$ ) ja neljän maissin kanssa kasvaneet lyhyempiä kuin muut (p-arvot välillä 0,000-0,05), yhden tai kahden maissin kanssa kasvaneiden viherrevonhöntien pituudet eivät eronneet toisistaan (Taulukko 6). Lämpötila ei vaikuttanut viherrevonhöntien pituuteen (Taulukko 5).

Kilpailu maissin kanssa vähensi merkitsevästi myös viherrevonhöntien painoa kasvihuoneessa (Taulukko 5); mitä voimakkaampi kilpailu, sitä alhaisempi paino (parittaisissa vertailuissa  $p = 0,000$  kaikkien käsittelyjen välillä, paitsi ”kaksi maissia” ja ”neljä maissia” -käsittelyjen välillä  $p < 0,005$ ) (Taulukko 6). Painavinkin kasvi painoi kasvihuoneessa vain 44 g.



Taulukko 5. Viherrevonhätä: Kasvihuonekokeesta mitattujen käsittelykeskiarvojen erojen tilastollinen merkitsevyys. (F-arvot ja tilastollinen merkitsevyys: \*\*\*= $p<0,001$ , \*\*= $p<0,01$ , \*= $p<0,05$ , ns=ei merkitsevä).

Muuttuja	kilpailu	lämpötila	kilpailu* lämpötila
Pituus	46,6***	2,1ns	2,5ns
Paino	272,7***	0,0ns	1,0ns
Siementen lukumäärä	53,8***	1104,5***	3,3*
Siementen kokonaispaino	106,7***	44,3*	4,8**
Siemenen keskipaino	2,9*	0,2ns	3,7*

Taulukko 6. Viherrevonhännän kasvu ja siementuotanto kasvihuonekokeessa, jossa se kasvoi eriasteisissa kilpailutilanteissa: ilman maissia, yhden maissin kanssa, kahden maissin kanssa tai neljän maissin kanssa. (Keskiarvot ja keskihajonnat, n=16).

Muuttuja/ kilpailukäsittely	Ei maissia	Yksi maissi	Kaksi maissia	Neljä maissia
Pituus (cm)	106,6	70,7	62,7	47,4
<i>keskihajonta</i>	7,6	19,2	14,3	21,3
Paino (g)	31,9	6,9	3,3	1,5
<i>keskihajonta</i>	5,7	2,8	1,5	1,1
Siemenellisiä kasveja yhteensä/käsittely	16	16	16	14
Siementen lukumäärä	8773,4	1836,8	695,8	300,0
<i>keskihajonta</i>	5427,3	1182,4	653,0	285,3
Siementen kokonaispaino (g)	3,29	0,67	0,27	0,11
<i>keskihajonta</i>	2,02	0,43	0,25	0,10
Siemenen keskipaino (mg)	0,38	0,36	0,37	0,34
<i>keskihajonta</i>	0,03	0,03	0,04	0,05

#### 4.2.2 Kananhirssi

Pellolla pisin kananhirssi kasvoi 134 cm, mutta tavallisimmin pituus vaihteli 0,5-1 m välillä (Taulukko 7). Herbisidillä käsitellyissä ruuduissa kananhirssit olivat keskimäärin vain 0,3 m, mutta se johtui siitä, että ne olivat itäneet myöhään; kaikki herbisidikäsittelyn saaneet kananhirssithän kuolivat käsittelyyn. Vain yksi kasvi, joka kasvoi ilman kilpailua ja torjuntaa, oli rotevan näköinen, muut olivat hyvin hentoja. Kasvihuoneessa puolestaan kananhirssit kasvoivat hyvin pitkiksi; pisimmät olivat yli 2,5 m.

Kasvihuoneessa voimakas kilpailu vaikutti kananhirssin pituuteen (Taulukko 8). Parittaisissa vertailuissa ilman kilpailua kasvaneet kananhirssit olivat pidempiä kuin neljän maissin kanssa kasvaneet ( $p=0,000$ ), ja ”kaksi maissia” -käsittelyssä kasvaneet olivat myös pidempiä kuin ”neljä maissia” -käsittelyssä kasvaneet ( $p<0,05$ ), muiden käsittelyjen välillä ei ollut eroja (Taulukko 9). Lämpötila ei vaikuttanut kananhirssien pituuteen (Taulukko 8).

Kasvihuoneessa maissin kanssa kilpailu alensi kananhirssien painoa niin, että ilman maissia kasvaneet kananhirssit olivat painavampia kuin muissa käsittelyissä kasvaneet ( $p=0,000$ ), samoin kuin yhden maissin kanssa kasvaneet olivat painavampia kuin neljän maissin kanssa kasvaneet ( $p=0,000$ ) (Taulukko 9). Lämpötilalla ei ollut vaikutusta kananhirssien painoon (Taulukko 8). Kananhirssien hentous kasvihuoneessa tuli hyvin ilmi siitä, että painavin kasvi kasvihuoneessa painoi 67 g ja oli 252 cm pitkä, painavin pellolla kasvanut painoi 84 g ja oli 134 cm pitkä. Pellolla muut kasvit painoivat 1–11 g, kasvihuoneessa oli enemmän painavia (50–30 g), mutta myös alle gramman painoisia kasveja.

Taulukko 7. Kananhirssin kasvu ja siementuotanto kenttäkokeessa, jossa se kasvoi joko avokesannossa joko ilman herbisidikäsittelyä tai käsiteltynä tai maissikasvustossa ilman herbisidikäsittelyä. (Keskiarvot ja keskihajonnat).

Muuttuja/Käsittely	Kesanto		Maissikasvusto
	Ei herbisidiä	Herbisidi	Ei herbisidiä
Kasvitiheys kpl/m <sup>2</sup>	1	1	1
Pituus (cm)	90,3	27,8	77,5
<i>keskihajonta</i>	35,2	13,1	36,9
Paino (g)	23,8	5	5,7
<i>keskihajonta</i>	40,1	4,9	4,7
Tähkien lukumäärä	2	0	2
<i>keskihajonta</i>	2,7	0	2,7
Versojen lukumäärä	10	8,8	3,8
<i>keskihajonta</i>	12,8	6,9	2,5
Siementen lukumäärä	140	0	19
<i>keskihajonta</i>			
Siementen kokonaispaino (g)	0,2		0
<i>keskihajonta</i>			
Siemenen keskipaino (mg)	1,3		1,9
<i>keskihajonta</i>			

Taulukko 8. Kananhirssi: Kasviuonekokeesta mitattujen käsittelykeskiarvojen erojen tilastollinen merkitsevyys (F-arvot ja tilastollinen merkitsevyys: \*\*\*=p<0,001, \*\*=p<0,01, \*=p<0,05, ns=ei merkitsevä).

Muuttuja	kilpailu*		
	kilpailu	lämpötila	lämpötila
Pituus	6,9***	10,6ns	0,8ns
Paino	29,6***	0,0ns	1,9ns
Versojen lukumäärä	17,1***	0,9ns	1,6ns
Tähkien lukumäärä	6,6***	57,5*	0,3ns
Siementen lukumäärä	3,6**	1,0ns	2,3ns
Siementen kokonaispaino	14,3***	3,1ns	1,5ns
Siemenen keskipaino	1,7ns	0,0ns	0,3ns

Taulukko 9. Kananhirssin kasvu ja siementuotanto kasvihuonekokeessa, jossa se kasvoi eriasteisissa kilpailutilanteissa: ilman maissia, yhden maissin kanssa, kahden maissin kanssa tai neljän maissin kanssa. (Keskiarvot ja keskihajonnat, n=16, paitsi Neljä maissia n=15).

Muuttuja/Käsittely	Ei maissia	Yksi maissi	Kaksi maissia	Neljä maissia
Pituus (cm)	186,6	146,3	151	93,1
<i>keskihajonta</i>	<i>51,7</i>	<i>64</i>	<i>49,1</i>	<i>61</i>
Paino (g)	38,3	17	8,5	2,6
<i>keskihajonta</i>	<i>18,4</i>	<i>12,6</i>	<i>7,5</i>	<i>2,3</i>
Tähkien lukumäärä	32,3	11,9	11,9	6,8
<i>keskihajonta</i>	<i>25,3</i>	<i>10,7</i>	<i>11,3</i>	<i>7</i>
Versojen lukumäärä	6,9	4	2,6	2
<i>keskihajonta</i>	<i>3,1</i>	<i>2,5</i>	<i>1,4</i>	<i>1,5</i>
Siemenellisiä kasveja yhteensä/käsittely	14	14	14	14
Siementen lukumäärä	5012,8	1433,4	930,6	373,8
<i>keskihajonta</i>	<i>4142,4</i>	<i>1649,1</i>	<i>1067</i>	<i>333,9</i>
Siementen kokonaispaino (g)	9,5	3	2,1	0,8
<i>keskihajonta</i>	<i>6,8</i>	<i>3</i>	<i>2,2</i>	<i>0,6</i>
Siemenen keskipaino (mg)	1,7	1,8	2,7	2
<i>keskihajonta</i>	<i>0,4</i>	<i>0,4</i>	<i>1,7</i>	<i>0,9</i>

Pellolla maissikasvustossa kasvaessaan kananhirssit kasvoivat lähinnä pituutta, eivätkä kasvattaneet sivuversoja kuten yksin kasvaessaan. Kasvihuoneessa kananhirssit kasvattivat sivuversoja, mutta niiden kasvu suuntautui, samoin kuin päävarren kasvu, voimakkaasti ylöspäin. Pellolla taas suurin ja painavin kananhirssi, jolla oli myös eniten versoja (29 versoa), kasvoi aivan lamoavasti ja peitti maanpinnasta arviolta n. 0,5 m<sup>2</sup>. Kasvihuoneessa versoja oli 1–12, pellolla 1–18 (Taulukot 6 ja 9). Parittaisissa vertailuissa eniten versoja kasvihuoneessa oli yksin kasvaneilla kananhirsseillä verrattuna muissa käsittelyissä kasvaneisiin (p=0,000, paitsi ”yksi maissi” käsittelyyn verrattuna p<0,01), muut käsittelyt eivät eronneet toisistaan (Taulukko 9). Lämpötila ei vaikuttanut versojen määrään (Taulukko 7).

## 4.3 Kukinta

### 4.3.1 Viherrevonhätä

Pellolla suurin osa viherrevonhännistä ehti kukkia. Vain 20 viherrevonhantää ei ehtinyt avata kukkia lainkaan, näistä kuusi oli jommassakummassa herbisidikäsitellyssä. Vain yksi heinäkuun lopun jälkeen itänyt kasvi ehti aukaista kukat, toisaalta moni sitä ennenkin itänyt ei ehtinyt kukkia. Noin puolella viherrevonhännistä oli tähkä näkyvissä elokuun puolivälissä – ja näistä muutamalla oli jo silloin kukatkin auki. Seuraavalla viikolla havaittiin aukinaisia kukkia 27 viherrevonhännällä. Lämpösummaa oli silloin kertynyt yli 900 kumulatiivista vuorokausiastetta kylvöstä laskien (Kuva 1), mutta todellinen kasvien kokema lämpösumma oli alhaisempi, koska ne itivät myöhään. Päivissä kylvöstä kukinnan aloittamiseen meni 100–120 päivää, josta noin puolet kului itämiseen. Ensimmäiset havaitut kuihtuneet kukat, joiden sisällä oli musta siemen, olivat pellolla syyskuun puolessa välissä. Lämpösummaa ensimmäisten havaittujen kuihtuneisiin kukkiin tarvittiin noin 1100–1200 kumulatiivista vuorokausiastetta.

Kasvihuoneessa suurimmalla osasta viherrevonhantiä oli kukat auki elokuun puolivälissä, muutama oli silloin jo osittain kukkinut. Tässä vaiheessa kasvihuoneessa oli kertynyt lämpösummaa yli 1300 kumulatiivista vuorokausiastetta tulevaisuuden lämpötilan huoneissa ja nykyisen lämpötilan huoneissa 1100 astetta, päivissä tämä tarkoittaa 82 päivää. Kasvihuoneessa kaikki viherrevonhännät, yhtä lukuunottamatta, ehtivät kukkia.

### 4.3.2 Kananhirssi

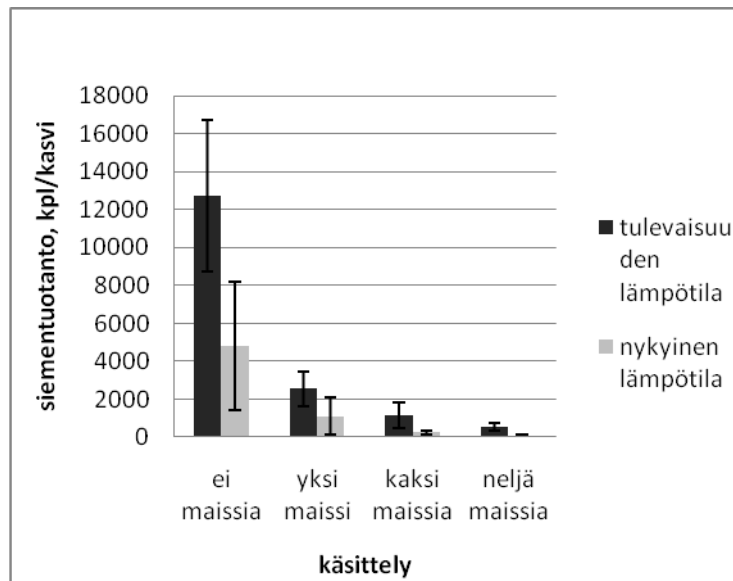
Pellolla ensimmäinen tähkä kananhirsillä oli kokonaan esillä 13.8., mutta seuraavien kananhirssien tähkät tulivat esiin vasta syyskuun loppupuolella, kolmella tähkä ei ehtinyt ollenkaan ilmestyä. Pellolla vain yksi kanahirssi pääsi siihen vaiheeseen, että sen siemenet alkoivat kevyesti näpäyttäessä tippua – jolloin voidaan olettaa siementen olevan tuleentuneita. Kasvihuoneessa 90 % kananhirsseistä ehti tähän vaiheeseen, vain kahdeksan ei ehtinyt tähän vaiheeseen, näistä kuusi nykyisen lämpötilan huoneissa. Elokuun puolivälissä 60 % kananhirsseistä ehtinyt jo siementen varisemisen vaiheeseen, erityisesti tulevaisuuden lämpötilan huoneissa. Tuottaakseen kypsiä siemeniä kananhirssit tarvitsivat kasvihuoneessa noin 1300–1500 kumulatiivista vuorokausiastetta, päivissä tämä vei alle 80 päivästä yli 100 päivään.

## 4.4 Siemenet

### 4.4.1 Viherrevonhätä

Pellolla 60 % viherrevonhännistä (46 kasvia) ehti tuottaa kypsän näköisiä siemeniä – toisin sanoen 40 % (30 kasvia) ei tuottanut siemeniä. Heinäkuun lopun jälkeen taimettuneet eivät ehtineet tuottaa siemeniä. Ilman kilpailua kasvaneista viherrevonhännistä 66 % tuotti siemeniä ja maissin kanssa kasvaneista 70 %. Tilastollisesti merkitseviä eroja oli kasvustotyyppien välillä (Taulukko 3); maissikasvustossa kasvaessaan viherrevonhännät tuottivat vähemmän siemeniä kuin kesannossa kasvaessaan (Taulukko 4). Myös herbisidikäsitteily vähensi siementen määrää merkitsevästi, mutta kasvustotyyppillä ja herbisidikäsitteilyllä ei ollut merkitseviä yhdysvaikutuksia (Taulukot 3 ja 4). Suurin siemenmäärä oli yli 11 500 siementä, tämä ilman maissia kasvaneella yksilöllä, maissin kanssa kasvaneista viherrevonhännätyksilö tuotti suurimmillaan yli 5000 siementä. Herbisidikäsitteilyn saaneista kesannossa kasvaneiden yksilöiden suurin siemenmäärä oli lähes 400, maissin kanssa kasvaneista vain yksi ainut yksilö tuotti yhden ainoan siemenen. Herbisidikäsitellyillä ruuduilla kaikki siemeniä tuottaneet kasvit olivat itäneet ennen 1.7. ja olivat siis kaikki selvinneet ruiskutuksesta, mutta enemmän kuin yhden siemenen tuottaneita kasveja oli vain kolme; 27 % herbisidikäsitteilyn saaneista kasveista.

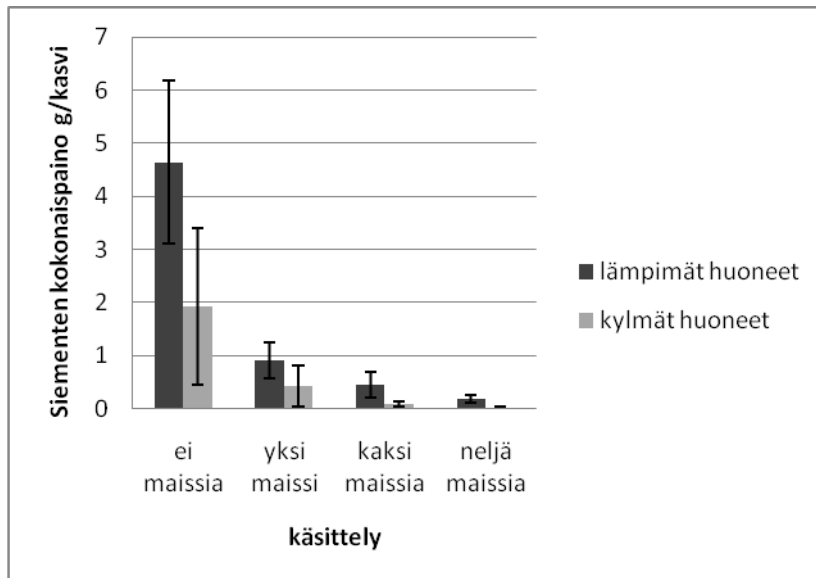
Kasvihuoneessa kasvit tuottivat enemmän siemeniä kuin pellolla. Kaikki tulevaisuuden lämpötilan huoneiden viherrevonhännät tuottivat siemeniä ja vain kaksi kasvia nykyisen lämpötilan huoneissa ei tuottanut siemeniä. Suurimmillaan siemensato oli yksin kasvaneilla viherrevonhännillä melkein 20 000 siementä tulevaisuuden lämpötilan huoneessa, nykyisen lämpötilankin huoneissa 12 000. Jopa ”neljä maissia”- käsittelyssä tulevaisuuden lämpötilan huoneissa kasvit tuottivat usein satoja siemeniä, nykyisen lämpötilan huoneissakin usea kasvi tuotti yli sata. Lämpötila vaikutti siementuotantoon kilpailuasetelmasta riippuen (Taulukko 5). Kovassa kilpailussa ero tulevaisuuden lämpötilassa ja nykyisessä lämpötilassa kasvaneiden viherrevonhännien siemenmäärien välillä oli pienempi kuin ei-kilpailua tilanteessa, kuitenkin niin, että tulevaisuuden lämpötilassa oli aina enemmän siemeniä ja samoin väheisemmässä kilpailussa, tai ei ollenkaan kilpailua, oli enemmän siemeniä (Kuva 4). Kaikissa käsittelyissä nykyisessä lämpötilassa ja tulevaisuuden lämpötilassa kasvaneiden siemenmäärät erosivat toisistaan merkitsevästi (p-arvot välillä 0,000–0,01, paitsi ”ei maissia”-käsittelyssä  $p < 0,05$ ) (Kuva 4).



Kuva 4. Viherrevonhännän siementen lukumäärä kasvihuoneessa käsittelyittäin ja lämpötiloittain.

Pellolla maissikasvustossa kasvaminen tai herbisidikäsittely vaikuttivat molemmat erikseen myös siementen kokonaispainoon (Taulukko 3). Pellolla kesannossa kasvaneiden viherrevonhännien kokonaissiemenpaino oli merkitsevästi suurempi kuin maissin kanssa kasvaneilla (Taulukko 4). Myös herbisidikäsittelemättömillä viherrevonhännillä oli merkitsevästi suurempi kokonaissiemenpaino kuin herbisidikäsittelyn saaneilla viherrevonhännillä (Taulukko 4). Kasvustotyyppin ja herbisidikäsittelyn yhdysvaikutuksia ei ollut (Taulukko 3). Pellolla siementen keskimääräinen kokonaispaino oli alle 2 g ilman maissia ja torjuntaa kasvaneilla viherrevonhännillä ja muilla alle 0,5 g.

Kasvihuoneessa erot siementen kokonaispainoissa olivat samansuuntaiset kuin siemenmäärissä; lämpötila ja kilpailu vaikuttivat yhdessä siementen kokonaispainoon (Taulukko 5). Kaikissa kilpailutilanteissa siementen kokonaispaino oli suurempi tulevaisuuden lämpötilassa kuin nykyisessä lämpötilassa (p-arvot välillä 0,000–0,05), ainosastaan ”neljä maissia tilanteessa eroa ei ollut (Kuva 5). Tulevaisuuden korkeampi lämpötila lisäsi siementen kokonaispainoa suhteessa vähemmän kovemmassa kilpailussa kuin ei-kilpailua tilanteessa (Kuva 5). Kasvihuoneessa kokonaissiemenpaino yksin kasvaneilla viherrevonhännillä oli noin 4,5 g tulevaisuuden lämpötilassa, mutta nykyisessä lämpötilassa sama kuin pellolla: noin 2 g.



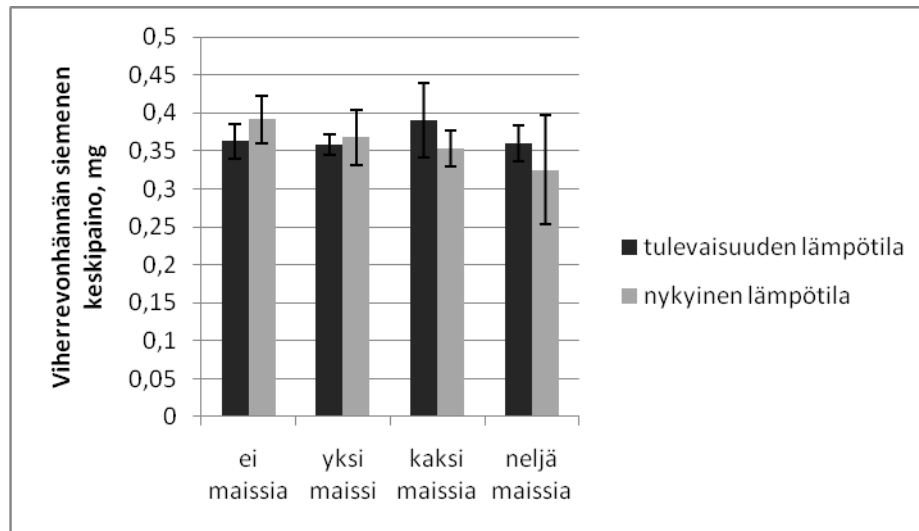
Kuva 5. Viherrevonhännän siementen kokonaispaino kasvihuoneessa käsittelyittäin ja lämpötiloittain.

Suurin kokonaissiemenpaino pellolla ja kasvihuoneessa tulevaisuuden lämpötilassa oli kuitenkin samaa luokkaa: noin 7 g. Kasvihuoneessa nykyisessä lämpötilassa suurin siemenpaino oli noin 5 g.

Pellolla yhden siemenen keskipaino oli silmämääräisesti hiukan korkeampi kuin kasvihuoneessa. Suurin siemenen keskipaino oli pellolla 0,75 mg kun kasvihuoneessa suurin paino oli 0,50 mg, alin siemenpaino oli pellolla 0,33 mg ja kasvihuoneessa 0,25 mg. Kenttäkokeessa herbisidikäsittely tai kasvustotyyppi ei vaikuttanut siemenen keskipainoon (Taulukko 3).

Kasvihuoneessa lämpötila ja kilpailu vaikuttivat yhdessä myös siemenen keskipainoon (Taulukko 5), kuitenkin niin, että vain kahden maissin kanssa kasvaneiden siemenet olivat tulevaisuuden lämpötilassa merkitsevästi painavampia kuin nykyisessä lämpötilassa ( $p < 0,05$ ). Muissa käsittelyissä siementen keskipaino oli sama tulevaisuuden ja nykyisessä lämpötilassa (Kuva 6).



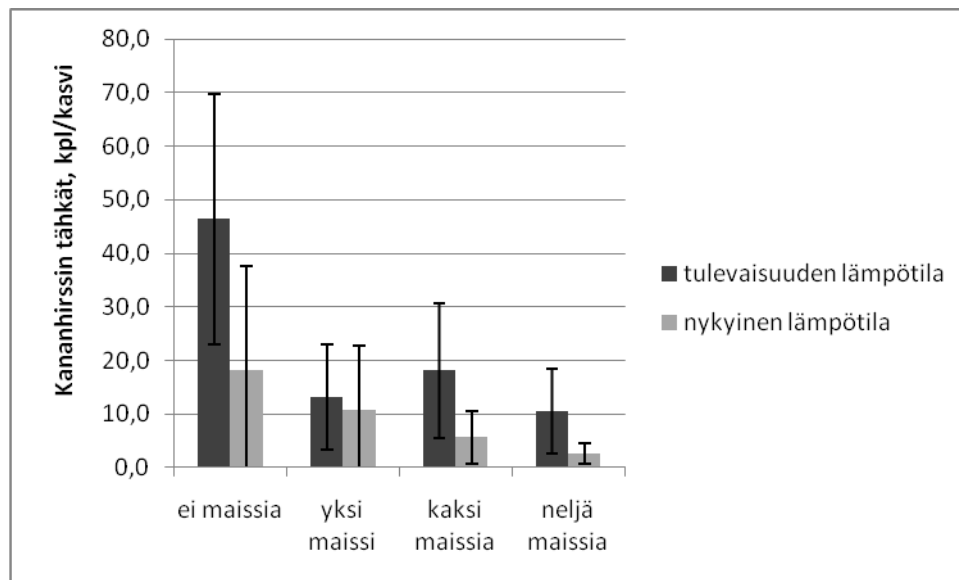


Kuva 6. Viherrevonhännän siemenen keskipaino lämpötiloittain ja kilpailukäsittelyittäin.

#### 4.3.2 Kananhirssi

Pellolla vain kaksi kananhirssiä tuotti kypsänköisiä siemeniä, toisella oli 140 täysinäistä siementä, toisella 19, siementen painot olivat 0,188 g ja 0,037 g. Enemmän siemeniä tuottanut kasvoi kesannossa ilman herbisidikäsitelyä, 19 siementä tuottanut kasvoi maissikasvustossa (Taulukko 7). Yllättäen isoimmat kasvit eivät tuottaneet lainkaan kypsiä siemeniä. Tähkiä pellolla kasvaneilla kananhirsseillä oli 1–6 (Taulukko 7), toisin monilla oli lisää tähkiä ilmestymässä kokeen lopussa.

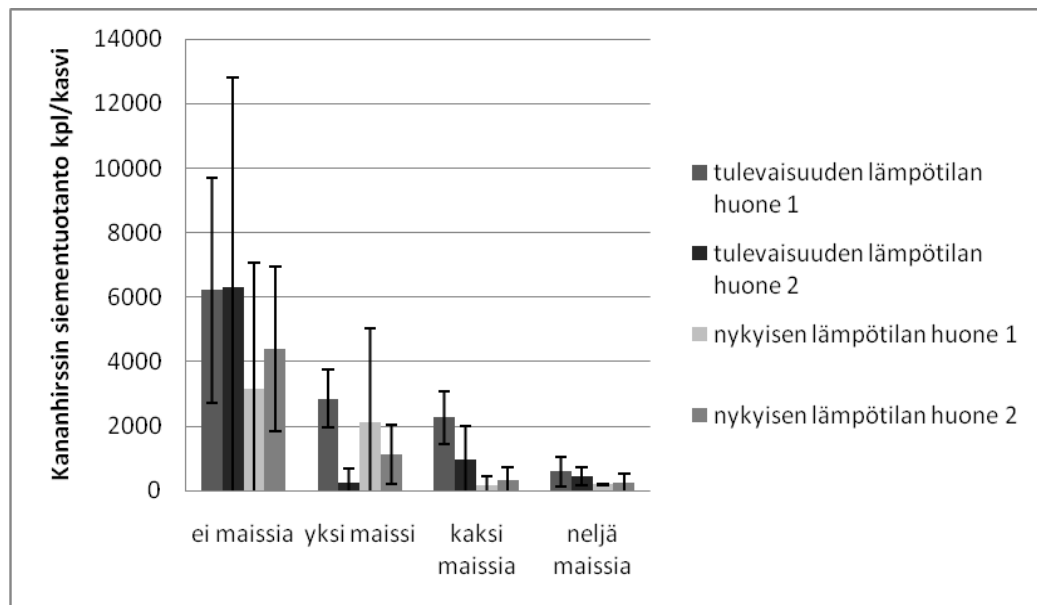
Kasvihuoneessa tähkiä ja sitä myöten siemeniä oli huomattavasti enemmän (Taulukko 9): ilman maissin kilpailua kasvaneilla oli enimmillään 74 täysin esillä ollutta tähkää ja vielä ”neljä maissia” -käsittelyssäkin enimmillään 27 tähkää. Kasvihuoneessakin tähkiä tuli koko ajan lisää ja kun osa tähkistä tiputti siemeniä, toiset olivat vasta pilkistämässä esiin ja aivan vihreitä. Neljällä kasvalla ei ollut ollenkaan tähkää ja näistä kaksi oli ”yksi maissi” -käsittelyssä.



Kuva 7. Kananhirssin tähkien määrä lämpötiloittain ja kilpailukäsittelyittäin

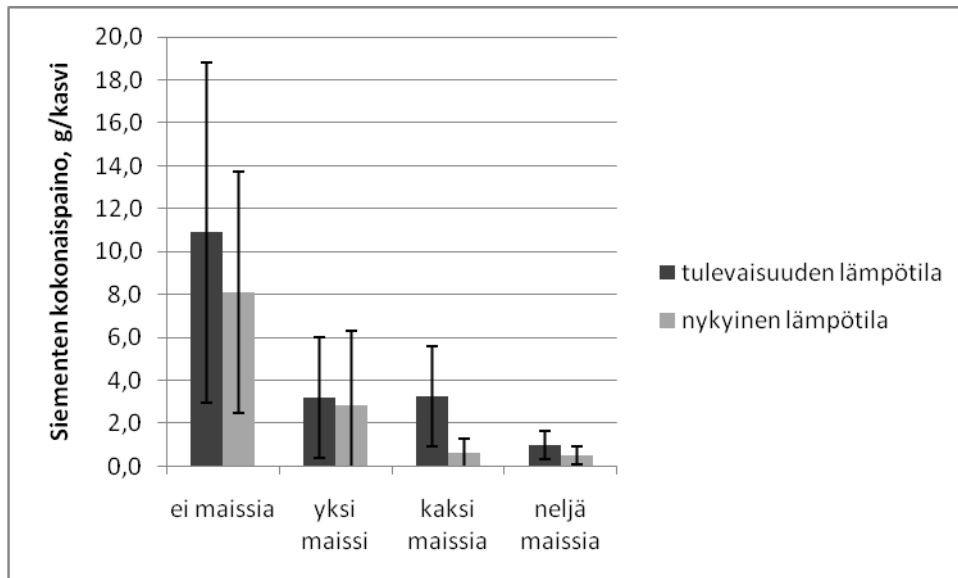
Kasvihuoneessa lämpötila ja kilpailu vaikuttivat yhdessä tähkien määrään (Taulukko 8). Korkeampi lämpötila lisäsi tähkien määrää eniten kananhirsseillä jotka kasvoivat ilman maissia, muissa kilpailutilanteissa erot lämpötilojen välillä olivat tasaisemman ja ”yksi maissi” –käsittelyssä merkitsevää eroa ei ollut lainkaan ( $p < 0,05$  muissa kilpailukäsittelyissä tulevaisuuden lämpötilan ja nykyisen lämpötilan välillä) (Kuva 7).

Kilpailu vaikutti kananhirssin siementen määrään (Taulukko 8); ilman maissin kilpailua kasvaneilla kananhirsseillä oli enemmän siemeniä kuin neljän maissin kanssa kasvaneilla ( $p < 0,05$ ) (Taulukko 9). Lämpötila ei sensijaan vaikuttanut siementen määrään (Taulukko 8). Huone vaikutti siementen lukumäärään ( $p < 0,005$ ): tulevaisuuden lämpötilan reunahuoneessa oli enemmän siemeniä kuin toisessa nykyisen lämpötilan huoneessa (1) ja huoneen ja käsittelyn yhdysvaikutusta on lievästi ”kaksi maissia” –käsittelyssä ( $p < 0,05$ ) (Kuva 7). Toisessa nykyisen lämpötilan huoneessa ”kaksi maissia” –käsittelyssä vain kaksi kasvia neljästä tuotti siemeniä, ja toisella siemeniä tuottaneistakin oli vain 23 siementä. Kananhirssin suurin siemenmäärä kasvihuoneessa oli 12000 siementä, tämä ilman maissia kasvaneella kananhirsillä tulevaisuuden lämpötilassa. Nykyisessä lämpötilassa suurin siemenmäärä oli noin 8600 siementä. Vielä käsittelyssä ”neljä maissia” kananhirssi onnistui tuottamaan enimmillään tulevaisuuden lämpötilassa yli 1200 siementä ja nykyisessä lämpötilassakin yli 500. Kahdeksan kasvia ei tuottanut lainkaan siemeniä, ja näitä oli kaikissa käsittelyissä ja sekä tulevaisuuden, että nykyisen lämpötilan huoneissa.



Kuva 6. Kananhirssin siementen lukumäärä kasvihuoneessa huoneittain ja kilpailukäsittelyittäin.

Kasvihuoneessa siementen kokonaispaino oli suurimmillaan noin 20 g lämpimässä ja kylmässä noin 17 g ilman maissin kilpailua kasvaneilla kananhirsseillä. ”Neljä maissia”-käsittelyssä tulevaisuuden lämpötilassa siementen kokonaispaino oli suurimmillaan yli 2 g, mutta nykyisessä lämpötilassa siementen paino jäi alle gramman. Ilman maissia kasvaneiden kanahirssin siementen kokonaispaino oli suurempi kuin kahden tai neljän maissin kanssa kasvaneiden kanahirssien kokonaissiemenpaino ( $p=0,001$ ), ja myös suurempi kuin yhden maissin kanssa kasvaneiden kananhirssien kokonaissiemenpaino ( $p<0,05$ ) (Taulukko 9). Lämpötilalla ei ollut vaikutusta siementen kokonaispainoon (Taulukko 8). Lämpötilan ja kilpailun yhdysvaikutuksiakaan ei ollut (Taulukko 8), vaan siementen kokonaispainot olivat melko samanlaiset eri kilpailukäsittelyjen sisällä tulevaisuuden lämpötilassa ja nykyisessä lämpötilassa kasvaneiden välillä (Kuva 7).



Kuva 7. Kananhirssin siementen paino lämpötiloittain ja käsittelyittäin.

Kananhirssin yhden siemenen keskipaino oli suurimmillaan noin 7 mg ”kaksi maissia” – käsittelyssä nykyisessä lämpötilassa, mutta yleensä siemenen keskipaino oli alle tai yli 2 mg (Taulukko 9). Käsittelyllä tai lämpötilalla ei ollut merkitsevää vaikutusta siemenen keskipainoon (Taulukko 8). Huone oli kuitenkin lievästi merkitsevää; ”kaksi maissia”-käsittelyssä kylmät huoneet eroavat toisistaan ( $p < 0,05$ ). Pellolla kahden siemeniä tuottaneen kananhirssin siemenen keskipaino oli 2,0 ja 1,3 mg (Taulukko 7).

#### 4.5 Rikkakasvien vaikutus maissien kasvuun

Kenttäkokeessa rikkakasvilaji näytti vaikuttavan maissien maanpäälliseen biomassaan ( $p < 0,05$ ); kananhirssin kanssa kasvaneet maissit olivat kevyempiä kuin viherrevonhännän kanssa kasvaneet (ks. taulukko 10). Ruudut, joilla kasvoi kananhirssi ja jotka saivat herbisidikäsitteilyn, kasvoivat käytännössä ilman rikkakasvia, koska kaikki niillä kasvaneet kananhirssit kuolivat herbisidikäsitteilyyn.

Taulukko 10. Kahden maissin keskipainot ja keskihajonnat kenttäkokeessa.

	Ei torjuntaa		Torjunta	
	Viherrevonhätä	Kananhirssi	Viherrevonhätä	Kananhirssi
Paino (g)	220,0	126,0	189,0	167,7
<i>keskihajonta</i>	<i>66,4</i>	<i>25,9</i>	<i>45,5</i>	<i>21,8</i>

Taulukko 11. Kahden maissin keskipainot ja keskihajonnat kasvihuoneessa.

	Viherrevonhätä	Kananhirssi	Kontrolli
Paino (g)	71,7	69,5	66,9
<i>keskihajonta</i>	<i>13,5</i>	<i>16,8</i>	<i>12,1</i>

Kasvihuoneessa kontrollikäsitteilyn maissit olivat pidempiä kuin ”rikkakasvi ja kaksi maissia” -käsitteilyssä kasvaneet maissit, mutta tämä saattaa johtua ennemmin siitä, että kontrollimaissit kasvoivat lattialla ruukun päällä ja varsinaiset käsitteilyt pöydällä. Painossa ei ollut merkitseviä eroja käsitteilyjen välillä pellolla tai kasvihuoneessa ( $p>0,05$ ). Kasvihuoneessa ”rikkakasvi ja kaksi maissia” -käsitteilyssä kasvaneet maissit olivat saman painoisia kuin ilman rikkakasvia kasvaneet kontrollimaissit (Taulukko 11). Pelloilla maisseja kasvoi noin 30 yksilöä/m<sup>2</sup>, joten maissien välillä on ollut lajin sisäistä kilpailua, samoin kuin kasvihuoneessakin, ruukuissa, joissa kasvoi enemmän kuin yksi maissi.

Kaikenkaikkiaan maissit kasvoivat melko huonosti sekä pellolla että kasvihuoneessa, verrattaessa esimerkiksi läheiseen maissipeltoon, jossa maissit kasvoivat paljon rehevämmin. Pellolla ero saattoi johtua liian vähäisestä typpilannoituksesta – läheinen maissipelto oli saanut 200 kg typpeä/ha, kun tässä tutkimuksessa maissit saivat vain 100 kg typpeä/ha. Kasvihuoneessa maissit olivat melko hentoja, mikä luultavasti johtui ruukkukasvatuksesta ja vähäisemmästä lannoituksesta.

## 4.6 Taimettumiskoe

Kenttäkokeesta korjatut uuden sukupolven viherrevonhännät taimettuivat vuonna 2010 runsaslukuisempina kuin emosukupolvi kenttäkokeessa 2009 (Taulukko 12), taimettuminen oli noin 30–50%. Ensimmäiset taimet havaittiin 20.6., kahdeksan päivän kuluttua kylvöstä. Taimettumisella oli kaksi selkeää huippua: 23.6. ja 11.7. jolloin oli taimettunut kymmeniä viherrevonhänniä jokaisessa ruukussa.

Taulukko 12. Viherrevonhännän kenttäkokeesta 2009 korjattujen siementen taimettuminen kesällä 2010, keskiarvo taimettuneiden määrä kesän lopussa kpl/200 siementä.

	kesanto		maissikasvusto	
	ei torjuntaa	torjunta	ei torjuntaa	
keskiarvo	101	118,8		76
<i>keskihajonta</i>	<i>10,4</i>	<i>16,4</i>		<i>10,4</i>

Siementen emokasvien kokemat olosuhteet: maissikasvusto tai kesanto, herbisidikäsitteily tai ei herbisidikäsitteilyä, ei vaikuttanut siementen taimettumiseen ( $p>0,05$ ), vaan kaikista olosuhteissa kypsyneet siemenet taimettuivat tilastollisesti yhtä hyvin (Taulukko 12). Kananhirssit puolestaan eivät taimettuneet juuri ollenkaan: kenttäkokeen siemenistä taimettui neljä siementä ja englantilaisista siemenistä taimettui hiukan yli kymmenen. Kananhirssit taimettuivat vasta heinäkuun puolessa välissä ja muutama taimettui elokuussa.

## 5 TULOSTEN TARKASTELU

### 5.1 Taimettuminen

Kananhirssit taimettuivat kenttäkokeessa huonosti ja viherrevonhännätkin odotettua huonommin. Koska molempien rikkakasvien siemenet taimettuivat kasvihuonekokeessa ilman suurempia ongelmia, huono taimettuminen pellolla saattaisi johtua pellolla vallinneista olosuhteista, esimerkiksi sääoloista. Taimettumista luultavasti hidasti kylmä sää heti kylvön jälkeen (Kuva 2) ja kesäkuun alun kuivuus. Tämä on erityisesti saattanut vaikuttaa kananhirssin itämiseen, onhan se luontaisesti kosteiden ja jopa märkien paikkojen kasvi (Collin & Jones 1985, Holm ym. 1977, Maun & Barret 1986). Tähän voisi viitata myös se, että kananhirssit itivät hyvin kylmissäkin kasvihuoneissa, missä niitä kasteltiin usein. Kananhirssit eivät myöskään itäneet yhtään paremmin kuumana kesänä 2010, jolloin oli myös kuivaa.

Kuivuus on saattanut vaikuttaa myös viherrevonhänkien huonoon itävyyteen: Orykotin ym. (1997) tutkimuksessa veden puute myöhästytti viherrevonhänkien itämistä alle 28 °C lämpötiloissa. Toisaalta, kananhirssi ei itänyt vuonna 2009 sittenkään, kun alkoi sataa ja lämpötila nousi. Saattaa myös olla, että lämpötila pellolla oli kuitenkin liian alhainen kananhirssille ja se, yhdessä kuivuuden kanssa, esti niitä itäystä. Kanadan

Ontariossa, jossa kananhirssiä esiintyy haitaksi saakka (Maun & Barret 1986), on suunnilleen samanlaiset kesälämpötilat kuin Suomessa, mutta siellä sataa kesäisin enemmän (Studia Maailmankartasto 1996). Pellon maa oli lisäksi savista ja siksi kuivuessaan pinnalta kovaa ja kokkareista ja jälkeensä ajatellen kastelu saattoi haitata itämistä kovettamalla maan pintaa entisestään. Toisaalta huono taimettuminen ei välttämättä ole mitään poikkeuksellista: Forcella ym. (1992) ovat havainneet viherrevonhännän taimettumisen olevan pellolla puolesta prosentista kolmeentoista prosenttiin (suhteessa siemenpankin kunnollisiin tai eläviin siemeniin) – mikä on yhteneväinen tämän kokeen vuoden 2009 viherrevonhännän itämisen kanssa.

Muita syitä huonoon taimettumiseen on voinut olla myös siementen alkuperä ja emokasvien kokemat olosuhteet. Esim. Charest ja Potvin (1993) ja Potvin (1991) huomasivat, että emokasvin kokemat alhaiset lämpötilat paransivat kananhirssin siementen itämistä, ja että siementen alkuperällä on väliä itämisessä. Minun tutkimuksessani kananhirssin siemenet olivat kotoisin Englannista ja ne olivat ”Nordictall”-lajiketta. Viherrevonhännän siemenet puolestaan olivat peräisin kesällä 2008 ulkona ämpäreissä kasvatetuista viherrevonhännistä ja alun perin Etelä-Ruotsista (55°45′ N; 13°19′ E). Viherrevonhännän parempi taimettuminen vuonna 2010 voisi johtua yksinkertaisesti siitä, että vuonna 2009 viherrevonhännät saivat kypsyttää siemeniään pidempään; vuonna 2008 pakkasen tuli jo syyskuun alussa. Toisaalta voi olla käynyt myös niin, että pellollakin on itänyt enemmän kasveja, jotka ovat heti kohta kuolleet ja siksi niitä ei ole havaittu: pienemmästä purkista on ollut helpompi havaita kaikki pienet kasvit, kuin suurelta neliömetrin alalta. Yllättävää vuoden 2010 itämiskokeessa oli, että herbisidia saaneiden kasvien siemenet olivat yhtä myös itämiskykyisiä kuin ei herbisidiä saaneiden kasvien siemenet.

Taimettuminen tapahtui kenttäkokeessa myös yllättävän myöhään, suuri osa kasveista iti vasta heinäkuun puolella. Myöhään itäminen voi olla rajoite tai etu viherrevonhännän tai kananhirssin Suomeen leviämislle – riippuen paikasta, mihin siemen on joutunut. Ranskassa huomattiin (Maillet & Lopez-Garcia 2000), että menestyneille maatalouden invasiivisille rikoille on yhteistä mm. myöhäinen itävyys ja täten vieraslajien menestymistä olisi edesauttanut se, että Ranskassa on vähän kesä-syklisiä kasveja, jolloin kesäkasvien ekolokero oli täyttämättä. Suomessa suurin osa kasveista lienee melko kesäsyklisiä (paitsi syysitoiset), mutta edellä mainittu tilanne voisi toteutua pellolla, josta muut rikot on torjuttu. Myöhään itävistä rikoista ei ole juurikaan haittaa

viljelykasville (ks. esim Bosnic 1997, Knezevic 1994), mutta, kuten tässä tutkimuksessa tuli ilmi, myöhäänkin itäneet kasvit voivat tuottaa siemeniä ja siten kasvattaa siemenpankkia, josta ajan kuluessa saataisi löytyä joku kilpailukykyisempi yksilö. Toisaalta esimerkiksi pellon/tien pientareelle jouduttuaan viherrevonhätä tai kananhirssi ei ehkä pystyisi ollenkaan taimettumaan, koska monivuotiset ja muut aikaisemmin itäneet kasvit olisivat jo täyttäneet paikan.

## 5.2 Vegetatiivinen kasvu

Viherrevonhätä ja kananhirssi kasvoivat kasvihuoneessa hyvin ja viherrevonhätä kasvoi hyvin myös pellolla, missä kananhirssi ei menestynyt. Kasvustotyyppin ja herbisidikäsittelyn vaikutus näkyi pellolla hyvin kasvien ulkonäössä ja värityksessä; kesannossa ilman herbisidikäsittelyä kasvaneet olivat isoja ja tukevia, maissikasvustossa ilman herbisidikäsittelyä kasvaneet olivat pitkiä ja hentoja. Herbisidikäsittelyn saaneet puolestaan kasvoivat lamoavasti ja olivat hyvin punaisia molemmissa kasvustotyypeissä. Kasvustotyyppi ja herbisidikäsittely sai aikaan myös tilastollisissa testeissä näkyviä eroja; molemmat vähensivät viherrevonhännön vegetatiivista kasvua. Kasvihuoneessa kilpailun vaikutus viherrevonhännän pituuteen ja painoon tuli myös näkyviin; mitä voimakkaampi kilpailu, sitä pienemmät kasvit.

Kilpailulla tarkoitetaan tässä yhteydessä ainoastaan lajien välistä kilpailua, eli kilpailua rikkakasvin ja maissin välillä. Toisaalta varsinkin kenttäkokeessa lajin sisäinenkin kilpailu on paikoin ollut voimakasta, koska osa kasveista kasvoi aivan vierä vieressä. Lisäksi eriaikainen taimettuminen on aiheuttanut suuria eroja rikkakasvien kasvuun pellolla; kaikki edellä mainitsemani suurimmat kasvit ovat taimettuneet aikaisin ja ne ovat saattaneet kasvaa kauempana lajikumppaneistaan kuin pienemmiksi jääneet kasvit, tai niiden lähellä myöhemmin taimettunut kasvi ei ole päässyt häiritsemään niiden kasvua. Kananhirssien osalta lajin sisäinen kilpailu on ollut lähes olematonta, koska niitä kasvoi vain yksi tai kaksi ruudulla. Kasvihuoneessa puolestaan ainakaan viherrevonhännien välille ei päässyt syntymään lajin sisäistä kilpailua, koska rikkakasvit kasvoivat eri ruukuissa ja ruukkujen välimatka toisiinsa oli sellainen, etteivät viherrevonhännät juurikaan varjostaneet toisiaan. Kasvihuoneessa kananhirssit ovat saattaneet kokea jonkin verran lajin sisäistä varjostuskilpailua, koska useat kananhirssit kasvoivat niin korkeiksi ja saattoivat kasvaa hiukan limittäin, tosin tällöinkin on ollut kyse muutaman kapean lehden aiheuttamasta hyvin pienestä varjostuksesta.



Viherrevonhöntien pituus ja paino pellolla ilman maissin kanssa kilpailua oli suunnilleen samaa luokkaan kuin Kanadan Ontariossa tehdyssä vastaavassa kaksivuotisessa tutkimuksessa viileämpänä kesänä. Lämpimämpänä kesänä viherrevonhännät olivat kuitenkin suurempia Kanadassa kuin tässä tutkimuksessa (Shrestha & Swanton 2007). Shresthan ja Swantonin (2007) tutkimuksessa tutkittiin myös kylvöaikojen vaikutusta rikkakasvien kasvuun, ja huomattiin, että myöhään kylvetyt olivat usein pienempiä. Shresthan ja Swantonin (2007) tutkimuksessa kesäkuun loppupuolella kylvetyt viherrevonhännät, jotka oli siis kylvetty samaan aikaan kuin tässä tutkimuksessa ensimmäiset viherrevonhännät alkoivat taimettua, olivat lyhyempiä ja paljon kevyempiä kuin viherrevonhännät tässä tutkimuksessa. Pellon kananhirsseistä muutama oli pituudeltaan samaa luokkaa kuin Shresthan ja Swantonin (2007) kokeessa kylmempänä kesänä, mutta yhtä lukuun ottamatta paljon kevyempiä.

Maissi kanssa pellolla kilpailleet viherrevonhännät olivat hiukan pidempiä ja painavampia kuin esim. McLachlanin (1993a) Kanadassa tai Clayn ym. (2005) Etelä-Dakotassa tekemissä vastaavissa tutkimuksissa. Maissin kanssa kasvaneet kananhirsit olivat suunnilleen samaa kokoluokkaa kuin Etelä-Dakotassa. McLachlanin (1993b) ja Clayn ym. (2005) tutkimuksissa maissien tiheys oli huomattavasti alhaisempi kuin tässä tutkimuksessa, mutta varjostus on luultavasti ollut vähintään yhtä suurta, koska oletettavasti maissi on kasvanut näillä maissinviljelysseuduilla rehevämmiin.

Syy siihen, että viherrevonhöntä ei aiheuttanut havaittavaa vaikutusta maissin painoon, on luultavasti myöhäisessä taimettumisessa (ks. esim. Bosnic 1997, Knezevic 1994). Kuitenkin viherrevonhännät kasvoivat pellolla maississa jopa paremmin kuin esim. McLachlanin (1993a) ja Clayn ym. (2005) tutkimuksissa, mikä voisi johtua siitä, että minun tutkimuksessani maissin kilpailukyky on ollut huonompi (ks. Peltonen-Sainio ym. 2009). Tässä tutkimuksessa rikkakasvit olivat myös toisiinsa nähden tiheämmin kuin ulkomaisissa tutkimuksissa, mikä luultavasti on osaltaan aiheuttanut rikkakasvien suuren kokovaihtelun.

Kasvihuonekokeessa yksin kasvaneet viherrevonhännät olivat hiukan lyhyempiä kuin viherrevonhännät Huangin ym. (2000) vastaavanlaisessa kokeessa (20 °C tasaisessa lämpötilassa ja 16 h päivänpituudessa). Yllättävää kuitenkin oli, että kasvihuoneessa yksin kasvaneet viherrevonhännät olivat huomattavasti painavampia kuin

viherrevonhännät Huangin ym. (2000) kokeessa. Kanahirssit puolestaan olivat paljon pidempiä kuin Swantonin ym. (2000) vastaavassa kasvukammiokeessa (20 °C tasaisessa lämpötilassa ja 16 h päivänpituudessa) ja kanahirssitkin olivat paljon painavampia kuin Swantonin ym. (2000) kokeessa. Versoja kasvihuonekananhirsseillä oli suunnilleen saman verran kuin Swantonin ym. (2000) kokeessa 17/7 °C lämpötilassa kasvaneilla kananhirsseillä. Ero painoissa saattaisi johtua erilaisista lannoitusmääristä; Huangin ym. (2000) ja Swantonin ym. (2000) kokeissa kasvit saivat lannoitetta vain kaksi kertaa, kun tässä kokeessa lannoitetta annettiin säännöllisesti koko kasvukauden. Kananhirssien ylenmääräinen pituuskasvu on voinut johtua niiden lajikkeesta: ”Nordictall” , ja myös siitä, että olosuhteet saattoivat olla edulliset pituuskasvulle (päivän pituus, tarpeeksi ravinteita ja vettä).

Viherrevonhännät kasvoivat vegetatiivisesti yhtä hyvin tai jopa paremmin kuin varsinaisella esiintymisalueellaan. Vaikka etukäteen tiedettiin, että viherrevonhännä ainakin satunnaisesti selviää ja kasvaa Suomessa (Lampinen ym. 2010), varsinkin kesannossa kasvaneiden viherrevonhännien voimakas kasvu pellolla oli yllätys. Tulokset kasvihuoneesta ja pellolta olivat samansuuntaiset ja tulokset tukenevat toisiaan. Hyvä vegetatiivinen kasvu viittaa siihen, että Suomen ilmasto ei nykyisinkään aseta esteitä viherrevonhännän kasvuille ja se pystyy kasvamaan pelto-olosuhteissa ja myös kilpailussa viljelykasvin kanssa. Tähän viittaa myös se, ettei lämpötila vaikuttanut kasvien kasvuun kasvihuoneissa.

Kananhirssin osalta kenttäkoe ja kasvihuonekoe eivät antaneet yhteneväisiä tuloksia – kananhirssi ei kasvanut kasvihuoneissa yhtään huonommin kylmissä huoneissa kuin lämpimissä huoneissa, mutta pellolla se ei kasvanut muutamaa kasvia lukuunottamatta kovinkaan hyvin. Syynä huonoon kasvuun pellolla voisi olla jo aiemmin mainittu kuivuus. Kasvihuoneessa kasvit saivat vettä tarpeensa mukaan. Myöskin emokasvien alkuperä on voinut vaikuttaa kananhirssien huonoon kasvuun; Potvin (1986) havaitsi, että eteläistä alkuperää olevat kasvit kasvoivat huonosti eivätkä tuottaneet siemeniä pohjoisessa kasvupaikassa. Kananhirssin kasvusta kenttäkokeesta ei voi tehdä kovin luotettavia päätelmiä, koska niitä oli niin vähän, mutta ehkä kasvihuone ja kenttäkokeen ristiriitaisista tuloksista voisi päätellä, että jokin muukin kuin lämpötila saattaisi vaikeuttaa kananhirssien kasvua Suomessa nykyisessä ilmastossa.

Se, että kananhirssit tilastollisen testin mukaan vähensivät maissien biomassaa, luultavasti johtuu siitä, että kaikki ”kananhirssi, ei torjuntaa”-ruudut sijaitsivat satunnaistamisen tuloksena koelohkon pohjoisreunassa, jossa maissi kasvoi jostain syystä huonommin kuin muualla koelohkolla. Epätodennäköistä on, että ne muutamat hennot kananhirssit, jotka kasvoivat maissin kanssa, olisivat saaneet aikaan painon vähenemistä maississa. Lisäksi, jos rikkakasvi olisi vaikuttanut maissien painoon, olisi voinut myös olettaa, että ne maissit, joista kaikki kananhirssit kuolivat heti kasvun alussa, olisivat olleet kaikkien painavimpia, mutta näin ei ollut.

### 5.3. Herbisidikäsitteilyn vaikutus

Herbisidikäsitteily tappoi 60 % viherrevonhännistä ja se hankaloitti käsitteilystä selvinneidenkin kasvua. Yllättävää kuitenkin oli, että torjunta-ainekäsitteily ei vaikuttanut kasvien painoon, johon kasvustotyyppi vaikutti voimakkaasti. Herbisidikäsitteilyn saaneet viherrevonhännät olivat yhtä rotevia kuin herbisidikäsitteilyä saamattomat. Tilastollisissa testeissä ei erottunut kasvustotyyppin ja herbisidikäsitteilyn yhdysvaikutuksia, mutta tämä voi johtua pienestä aineistosta ja suuresta hajonnasta. Silmämääräisesti maissikasvustossa kasvaneet herbisidikäsitteilyn saaneet olivat kaikkein pienimpiä, eivätkä ne tuottaneet (juurikaan) siemeniä. Tämä on viljelyn kannalta hyvä tulos, sillä vaikka kaikki kasvit eivät kuolleetkaan käsitteilyyn, ei niistä pieninä olisi haittaa viljelykasville, eikä siemenpankkiakaan pääsisi kertymään. Viherrevonhänkä ja kananhirssi olisivat tämän perusteella helposti torjuttavista (maissi)kasvustosta muiden torjuntatoimenpiteiden ohella. Mahdollinen hankaluus tässä tosin voisi olla myöhäinen taimettuminen, kuten yllä mainittu.

Toisaalta kesannossa kasvaneet viherrevonhännät näyttivät toipuivan herbisidikäsitteilyä paremmin ja ne onnistuivat tuottamaan itämiskykyisiä siemeniäkin. Avokesanto voisikin olla mahdollinen paikka, mistä nämä kasvit pääsisivät hyvin leviämään, torjunnasta huolimatta. Kuitenkin, koska kasveja oli melko vähän, kun herbisidi käsitteily tehtiin, ei tästä torjuntatuloksesta voi ehkä päätellä torjunnan tehokkuudesta/tehottomuudesta paljoakaan. Ulkomaisissa tutkimuksissa tässä tutkimuksessa käytetyn herbisidien tehoaine rimsulfuronin on tehonnut viherrevonhänkään ja kananhirssiin hyvin (Swanton ym. 1996, Auskalniene & Auskalnis 2006, Eberlein ym. 1994, Blackshaw ym. 1995, Hutchinson ym. 2004). Mahdollista kuitenkin olisi, että käytetty annos on ollut viherrevonhännälle liian pieni. Esimerkiksi

Eberleinin ym. (1994) tutkimuksessa rimsulfuronia käytettiin 18-35 g/ha ja alhaisimmallikin annoksella kaikki viherrevonhännät kuolivat. Kenttäkokeessa kaikki (6 kpl) herbisidikäsittelyn saaneet kananhirssit kuolivat.

## 5.4 Kukinta ja siemenet

Itämisen ja vegetatiivisen kasvun jälkeen seuraava tärkeä kohta kasvin elinkierrossa on kukinta ja siementen tuottaminen ja näiden ajoitus. Vakituinen siementuotto on edellytys tulokaslajin vakitukselle paikalleen asettumiselle (esim. Catford ym. 2009).

Lämpösumma-vaatimukset kypsien siementen tuottamiseen olivat Kanadan Ontariossa viherrevonhännälle 1100–1200 kumulatiivista vuorokausiastetta (pohjalämpönä 5 °C) ja kananhirssille 1000–1200 astetta. Kypsien siementen tuottamiseen pellolla Kanadan Ontariossa kului viherrevonhännällä 80-95 päivää ja kananhirsillä 70–90 päivää (Shrestha & Swanton 2007). Nämä lukemat vastaavat tässä tutkimuksessa laskettuja lukemia, jos ajatellaan koko kasvukautta kylvöstä kokeen lopettamiseen. Koska kasvit kuitenkin taimetytuivat niin myöhään pellolla, oli niiden kokema aika ja lämpösumma itämisestä siementuottoon jonkin verran alhaisempi.

Kasvihuoneessa taimettuminen tapahtui nopeammin ja kasvit aloittivat kukinnan ja niillä oli kypsiä siemeniä hiukan aikaisemmin kuin pellolla, mutta lämpösummaa tähän kului hiukan enemmän. Potvin (1991) havaitsi, että elokuun maksimilämpötila ennusti parhaiten kananhirssin kukkimismenestyksen: siellä missä kananhirssi ei kukkinut maksimilämpötilat olivat 17–21 asteen välillä, tässä tutkimuksessa elokuun maksimilämpö oli kuitenkin keskimäärin 23 °C, joten alhainen lämpötila yksin ei selitä kananhirssien huonoa siementuottoa. Tosin tässä tutkimuksessa tarkkailun kohteena oli kananhirssin siementen kypsyminen, eikä varsinaisesti kukkiminen, mutta koska kananhirssi ei pellolla tuottanut juurikaan siemeniä, se oli joko aivan kokeen lopussa ennättänyt kukkia tai ei ollut ennättänyt kukkia ollenkaan.

Kasvihuoneessa viherrevonhännät ja kananhirssit tuottivat paljon enemmän siemeniä kuin pellolla. Kasvustotyyppillä ja herbisidikäsittelyllä oli vaikutusta viherrevonhännän siemenmäärään ja siementen kokonaispainoon pellolla. Kilpailu vähensi siemenmäärää kasvihuoneessa. Tulos sopii yhteen McLachlanin ym. (1995) havaintojen kanssa maissin varjostuksen vähentävästä vaikutuksesta siemenmäärään. Kasvihuoneessa

myös lämpötilalla oli vaikutusta viherrevonhännän, mutta ei kananhirssin, siementen määrään ja kokonaispainoon.

Pellolla kasvaneet ja maissin kanssa kilpailleet viherrevonhännät tuottivat jopa enemmän siemeniä kuin myöhään suhteessa maissiin itäneet viherrevonhännät Etelä-Dakotassa (Clay ym. 2005), mutta paljon vähemmän kuin McLachlanin ym. (1995) tutkimuksessa Ontariossa. Ilman kilpailua kasvaneet viherrevonhännät tuottivat puolestaan Ontariossa ja Etelä-Dakotassa hyvin paljon enemmän siemeniä (satoja tuhansia) kuin tässä tutkimuksessa. Myös kananhirssit tuottivat Etelä-Dakotassa, ilman kilpailua ja kilpailussa maissin kanssa, enemmän siemeniä, kuin tässä tutkimuksessa pellolla. Kuitenkin taimettuessaan myöhään suhteessa maissiin kananhirssit tuottivat Etelä-Dakotassakin vain noin 150 siementä (Clay ym. 2005), mikä on melkein yhtä vähän kuin tässä tutkimuksessa. Texasissa, hyvin tiheässä kasvaneilla kananhirsseilläkin oli vain 110 siementä/kasvi – yhteensä neliömetrille riitti kuitenkin yli 20 000 siementä (Nussbaum ym. 1985).

Huangin ym. (2000) kasvihuonetutkimuksessa viherrevonhännän siemenet oli laskettu vain päävarresta, joten tuloksia ei voida suoraan verrata, mutta koska ainakin tässä tutkimuksessa kasvihuoneessa suurin tähkä oli päävarressa, voitaneen olettaa, että sivuhaarojen siementuotto on ollut pieni osa kokonaissiemenmäärästä. Huangin ym. (2000) tutkimuksessa päävarressa oli 16 h päivänpituudessa hiukan vähemmän siemeniä kuin tässä tutkimuksessa, mutta edellinen huomioon ottaen, siementuotto lienee ollut samaa luokkaa. Swantonin ym. (2000) kasvukammiotutkimuksessa myös kananhirssin siemenet oli laskettu vain päävarresta, mutta koska kananhirssillä suuri osa siemenistä voi olla myös sivuhaarojen tähkissä, ei tuloksia voi verrata.

Siemenen keskipaino viherrevonhännillä oli hiukan enemmän kenttäkokeessa kuin kasvihuoneessa. Kenttäkokeen tulokset ovat yhteneväiset esim. McWilliamsin (1968) punnitsemien pohjoista alkuperää olevien siementen painojen kanssa – jotka olivat painavampia kuin eteläisten kasvien siemenet. Kananhirssin siemenen keskipaino oli pellolla ja kasvihuoneessa samaa luokkaa tai jopa vähän enemmän kuin esim. Texasissa (Nussbaum ym. 1985) tai Kaliforniassa (Barret & Wilson 1983, Keeley & Thullen 1987). Potvin 1991 havaitsi, että kylmässä (19/9 °C) muodostui vähemmän, mutta painavampia siemeniä, mitä ei havaittu tässä tutkimuksessa.

Se, että viherrevonhännät tuottivat vähemmän siemeniä pellolla ja kasvihuoneessa nykyisessä lämpötilassa (kuin tulevaisuuden lämpötilassa tai esim. Kanadassa), kertonee siitä, että kesä tai koe päättyi niiden siementuoton kannalta liian aikaisin. Kananhirssin ja viherrevonhännän lämpösummavaatimukset kypsien siementen tuottoon (Shrestha & Swanton 2007) täyttyisivät jo nykyisin Etelä-Suomessa. Viherrevonhännä tuotti pellolla kypsiä siemeniä jo melko alhaisilla lämpösummilla ja melko nopeasti itämisen jälkeen. Kananhirssi olisi pellolla luultavasti tarvinnut huomattavasti pidemmän kesän, että se olisi ehtinyt tuottaa kypsiä siemeniä. Potvin ja Simon (1989) havaitsivat, että pohjoista alkuperää olevat kananhirssit kehittyivät siemenestä siemenen nopeammin kuin eteläistä alkuperää olevat kasvit; tässäkin tutkimuksessa kesä alkoi tavallaan aikaisemmin kasvihuoneessa kuin pellolla, jolloin kasvihuoneessa olleet kananhirssit ovat hyvin ehtineet tuottaa siemeniä, mutta pellolla kesä oli liian lyhyt. Kananhirssin kohdalla näyttäisi edelleen siltä, että jokin muu kuin lämpötila rajoittaisi myös niiden siementen tuotantoa. Pellon huonoon siementuotantoon luultavasti oli syynä myös huono vegetatiivinen kasvu, vaikka toisaalta, se ainutkaan iso kasvi ei tuottanut siemeniä.

Huolimatta hyvästä vegetatiivisesta kasvusta, saattaisi viherrevonhännän vakituinen siementuotto olla vielä epävarmaa Suomen nykyisessä ilmastossa. Myöhäisestä itämisestä johtuen kasvit kukkivat ja siemenet kypsyivät melko myöhään. Pysek ym. (2005) havaitsivat, että aikainen kukkiminen oli yhteistä menestyneille tulokaslajeille Tsekeissä. Myöhäinen kukkiminen ja siementen kypsyminen altistaa kasvit syksyn aikaisille pakkasille.

## 5.5 Leviämisen mahdollisuudet?

Tulokaskasvien leviämisen kannalta perustajakasvin siementuoton suuruus määrää siementen lyhyen matkan leviämisen ja populaatiokoon kasvattamisen mahdollisuudet (Jongejans & Skarpaas 2007). Viherrevonhännä tuotti yksin kasvaessaan kelpo määrän itämiskykyisiä siemeniä, mutta maissikasvustossa kasvaminen ja kilpailu vähensi sen siementuottoa ja lisäksi ilman kilpailuakin kasvaneilla viherrevonhännillä siementuotto oli kuitenkin vähäistä verrattuna muualla tehtyihin tutkimuksiin (esim. McLachlan 1995). Vaikka viherrevonhännä selviääkin hyvin Suomen ilmastossa ja vaikka sen siementuottokin onnistuisi vakituisesti, voisi leviämisen esteeksi kuitenkin tulla vähäinen siemenmäärä, ainakin kilpailutilanteessa, joka lienee todennäköisin tilanne

luonnossa. Toisaalta vähäisestäkin siemenmäärästä kertyy kuitenkin siemeniä siemenpankkiin, jotka voivat jäädä sinne odottamaan parempia olosuhteita. Peltokokeen perusteella satunnaisesti esiintyvät kananhirssit eivät sensijaan juuri näyttäisi kasvattavan siemenpainetta.

Vaikka siemeniä syntyisikin leviämisen kannalta riittävästi, esteeksi viherrevonhännän tai kananhirssin leviämislle voisi muodostua sellaisten viljelykasvien puute, joiden kasvustoissa viherrevonhänkä tai kananhirssi menestyisi. Suomessa yleisin pelto lienee viljapelto, ja esimerkiksi maissipeltoja on vielä harvassa. Miten viherrevonhänkä tai kananhirssi pärjäisi viljassa tai esimerkiksi perunassa tai vihanneksilla?

## 5.6 Ilmaston lämpenemisen vaikutus

Kasvihuoneessa viherrevonhänkä ja kananhirssi kasvoivat yhtä hyvin kylmissä kuin lämpimissä huoneissa. Tästä voisi päätellä, että nykyinenkään lämpötila ei asettaisi rajoituksia niiden vegetatiiviselle kasvulle Suomessa. Toisaalta, kuten edellä todettu, erilaiset abioottiset ja bioottiset tekijät saattaisivat tulla kuitenkin esteeksi ainakin vakitukselle asettumiselle nykyisessä ilmastossa. Kilpailulla ja lämpötilalla ei myöskään ollut yhdysvaikutuksia vegetatiiviseen kasvuun, joten tämä tutkimus ei anna aihetta olettaa, että viherrevonhännän tai kananhirssin kilpailukyky paranisi ilmaston lämmetessä, kuten olisi voinut luulla.

Korkeampi lämpötila kuitenkin lisäsi viherrevonhännän siementuotantoa, erityisesti sen kasvaessa ilman kilpailua, joten se todennäköisesti hyötyisi ilmastonmuutoksesta Suomessa. Kun siemeniä olisi enemmän, todennäköisyys leviämisllekin olisi suurempi (ks. Jongejans & Skarpaas 2007). Tulevaisuuden korkeammasta kasvukaudelta kertyvästä lämpösummasta voisi olla hyötyä viherrevonhännälle; se ehtisi kypsyttää enemmän siemeniä. Myös erityisesti kevään aikaistumisen voisi päätellä hyödyttävän viherrevonhänkkä, koska tällöin se pääsisi kasvuun aikaisemmin ja siten sillä olisi pidempi aika tuottaa siemeniä ja siementuotanto olisi myös varmempaa, jos sen pääsisi aloittamaan aikaisemmin. Toisaalta Suomessa on ilmaston muutoksenkin myötä pitkä päivä – se saattaa kuitenkin viivästyttää kukintaa ja siementuotantoa niin (ks. esim. Huang ym. 2000 ja Swanton ym. 2000), että se tapahtuisi liian myöhään syksyn tuloon nähden. Kasvukauden ei ennusteta pitenevän syksystä (Jylhä ym. 2004).

Kananhirssin siementuottoon lämpötilalla ei näyttänyt olevan vaikutusta. Tähtikiä oli kuitenkin enemmän lämpimässä, joten voisi olettaa, että kananhirssikin ehtisi kypsyttää enemmän siemeniä, jos lämpötila olisi vielä hiukan korkeampi ja kasvukausi pidempi kuin tässä tutkimuksessa lämpimissä huoneissa oli. Jos kananhirssin huonoon itämiseen ja kasvuun pellolla olisi syynä pääasiassa kuivuus, ei ilmaston muutos toisi tähän helpotusta, koska kevät- tai kesäsateiden ei ennusteta lisääntyvän (Jylhä ym. 2004). Toisaalta, kyse on luultavasti lämpötilan ja sateisuuden yhteisvaikutuksista ja pellolla on kuitenkin saattanut olla juuri liian kylmää kananhirssille, joten lämpötilan nousu saattaisi hyödyttää kananhirssiäkin todellisuudessa.

Entä sitten C4-fotosynteesireitin vaikutus? C4-kasvien tehokkuus tulee siitä, että ne pystyvät sitomaan hiiltä nykyisessä CO<sub>2</sub> pitoisuudessa (ja melko korkeissa lämpötiloissa) tehokkaammin kuin C3 lajit, ja siksi ne pystyvät kasvamaan tehokkaasti ja ehkä olemaan hyviä kilpailijoita (Ehleringer ym. 1997 ja ks. myös Black 1969). C3 kasvit ovat kuitenkin tehokkaampia yhteyttäjiä viileässä (Ehleringer & Björkman 1977, Pearcy ym. 1981, ks. myös Ehleringer 1978). Ilmaston lämpenemisen ennustetaankin hyödyttävän erityisesti C4 lajeja (Patterson & Flint 1980). Toisaalta Bunce & Ziska (2000) arvelevat, että ennustettu ilmaston lämpeneminen ei ainakaan pohjoisessa olisi tarpeeksi suurta, jotta C4 fotosynteesireitistä olisi etua C3 kasveihin nähden (ks. myös Ehleringer & Björkman 1977). Tähän voisi viitata myös se, että tässäkään tutkimuksessa kasvien vegetatiivinen kasvu ei parantunut tulevaisuuden kolme astetta korkeammassa lämpötilassa. Bunce & Ziska (2000) myös huomauttavat, että koska kylvöajat ilmaston lämpenemisen myötä aikaistuvat (myös Suomessa: Kaukoranta & Hakala 2008), joutuvat kasvit kuitenkin aloittamaan kasvunsa samoissa lämpötiloissa kuin nykyäänkin. Tällä on merkitystä kasvien kilpailusuhteille; aikainen nopea kasvu on ratkaisevaa kilpailun onnistumiselle (esim. Kropff & Spitters 1991). Lisäksi ilmaston lämpeneminen edellyttää kohoavaa CO<sub>2</sub> pitoisuutta, jonka ennustetaan hyödyttävän enemmän C3-kasveja (Bunce & Ziska 2000, Patterson 1995, Zangerl & Bazzaz 1984).

Toisaalta ilmastonmuutoksen vaikutukset siihen, kumpi fotosynteesireitti on edullisempi, ovat hyvin monimutkaiset (ks. Bunce & Ziska 2000 ja Zangerl & Bazzaz 1984) ja voivat olla lajikohtaiset. Esimerkiksi viherrevonhantä pystyy C3 lajien tavoin hyödyntämään korkeaa CO<sub>2</sub> pitoisuutta (Bazzaz ym. 1989) ja eräässä tutkimuksessa viherrevonhännän on myös havaittu kykenevän säilyttämään viileässäkin yhtä tehokkaan fotosynteesin kuin jauhosavikka (C3) (Tenhunen 1982). Lisäksi Hyvönen



ym. (2011) havaitsivat, että joitakin C4 rikkasveja tavattiin läpi koko Euroopan ja niiden levinneisyys ei riippunut lämpötilasta, kuten C3 rikkakasvien levinneisyys (ks. myös Stowe & Teeri 1978). Voisikin olla, että jotkin C4 rikkakasvit sietävät ja jopa menestyvät monenlaisissa ilmasto-olosuhteissa (Hyvönen ym. 2011, Stowe & Teeri 1978), joko C4 fotosynteesireitin ansiosta tai siitä huolimatta. Tämän tutkimuksen perusteella on kuitenkin hankala arvioida mikä olisi fotosynteesireitin rooli viherrevonhännän tai kananhirssin menestymisessä Suomessa ilmaston muuttuessa.

Ajateltaessa ilmaston muutosta pidemmän ajan päähän, pitää huomioida myös kasvien geneettinen muuttuminen ja sopeutuminen uusiin oloihin, joka voi tapahtua myös nopeasti (Davis & Shaw 2001, Roy ym. 2000).

## 5.7 Kokeen onnistuminen ja luotettavuus

Mack (1996) listaa artikkelissaan erilaisia tapoja ennustaa invasiivisten kasvien leviämistä uusille alueille ja tarkastelee menetelmiä kriittisesti. Tässä tutkimuksessa (ja aiemmin tehdyssä kandidaatintutkielmassa (Kinnunen 2010)) on sivuttu lyhyesti jotakin Mackin (1996) tarkastelemia keinoja, kuten rikkastatus muualla, levinneisyys samanlaisessa ilmastossa, ja suoritettu empiirisiä kokeita sekä manipuloidussa ympäristössä kasvihuoneessa että pellolla. Silti monta oleellista seikkaa on myös jäänyt huomiotta.

Ensimmäinen epäluotettavuutta aiheuttava tekijä on, että koe oli vain yksivuotinen. Jos halutaan saada luotettava kuva, miten kasvi käyttäytyy tietyssä ilmastossa, asiaa on hyvä testata useampana vuonna (Mack 1996). Useampana vuonna tutkittaessa saataisiin selvitettyä esimerkiksi aikaisempien pakkasten tai sateisemmän kevään vaikutus. Tutkittaessa useampana vuonna, olisi saatu myös luotettavampaa tietoa pysyvästi paikalleen asettumisen mahdollisuuksista – nyt tämä on vain pohdinnan varassa. Hyvää oli kuitenkin, että mukana oli kenttäkokeen lisäksi kasvihuonekoe, joka antoi tukea kenttäkokeelle viherrevonhännän osalta. Kananhirssin osalta pelkkä kasvihuonekoe olisi saattanut antaa väärän positiivisen kuvan. Toisaalta pelkän kenttäkokeen perusteella olisi saattanut tulla vääriä negatiivisia päätelmiä, jolloin kananhirssinkin osalta kokeet tukivat toisiaan. Kananhirssin kohdalla ristiriitaiset tulokset antoivat vihjeitä siitä, että joku kenties estää niitä itämästä ja kasvamassa nykyisen kaltaisissa oloissa Suomessa.

Epäonnistuneita tulokaslajien invaasioprosesseja on tutkittu harvemmin (Mack 1996), mutta ne antaisivat myös tärkeää tietoa, esimerkiksi torjunnan kannalta.

Tässä kokeessa maissi oli myös varsin huonokasvuinen, joten parempikasvuisesta maissista voisi tulos olla toisenlainen, siksi kenttäkokeen tulokseen tulee suhtautua varauksella. Kasvihuonekokeessa sekä maissit, että rikkakasvit kasvoivat molemmat kenties hiukan epäedullisissa oloissa ruukuissa, joten kasvihuonekokeen tulokset kilpailun osalta voisivat olla luotettavammat. Epäluotettavuutta aiheuttaa myös se, että kenttäkokeen aineisto oli pieni – ja kananhirssin kohdalla kenttäkokeen osalta tehdyt päätelmät voivat olla vain arvauksia.

Vieraskasvien menestymisen kannalta siemenpaine on merkitsevä (esim. Colautti ym. 2006, Lockwood ym. 2009). Siemenpaineen merkitystä olisi voinut tässä kokeessa testata esimerkiksi kylvämällä siemeniä eri määriä ja eri alkuperistä (ks. Catford ym. 2009). Tässä kokeessa siemenen alkuperä saattoi vaikuttaa kokeen tuloksiin.

Hyvää oli, että tutkittavia lajeja oli kaksi samantapaista, jolloin niitä voi verrata toisiinsa. Mielenkiintoista olisi ollut ottaa kokeeseen mukaan myös jokin kotoperäinen rikkakasvi, esimerkiksi jauhosavikka, ja vertailla sen kasvua ja kasvun ajoitusta tulokaslajeihin.

Koe ei ehkä antanut kovin luonnollista kuvaa näiden kasvien kasvusta Suomessa siinä mielessä, että todennäköinen ensimmäinen paikka tulokaskasveille on kuitenkin esimerkiksi tienvarsi - miten ne siellä pärjäisivät muiden lajien kanssa? Ja miten ne pärjäisivät pellolla muiden rikkakasvien kanssa?

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kananhirssin ja viherrevonhännän kasvua ja kehitystä Suomessa pelto-olosuhteissa ja arvioida ilmaston lämpenemisen vaikutusta kasvihuonekokeen avulla. Tarkoituksena oli myös pohtia näiden rikkakasvien mahdollista leviämistä Suomeen. Tutkimuksen tulokset antavat olettaa, että ainakin viherrevonhännällä olisi ilmaston puolesta hyvät mahdollisuudet selvitä ja kasvaa Suomessa jo nyt – toisin esimerkiksi bioottiset tekijät saattaisivat hankaloittaa taimettumista. Toisaalta vakituinen siementuotto ja leviäminen ei näytä niin varmalta,

mutta tulevaisuuden lämpimämmässä ilmastossa niidenkin mahdollisuudet voisivat parantua. Yleisten suurten ilmastotrendien lisäksi asiaan vaikuttaisivat ilmaston lämmitessäkin vuosien väliset vaihtelut ja pienemmät alueelliset ja paikalliset erot lämpötiloissa ja sadannassa.

Kananhirssin osalta tulokset olivat ristiriitaiset ja antavat aihetta lisätutkimukselle. Sen lisäksi, mikä tekee invaasion onnistuneeksi, olisi hyödyllistä tutkia, mikä sitä estää. Kananhirssin osalta tästä saatiinkin jo ehkä viitteitä – lämpötila sinänsä ei näyttäisi olevan ongelma, vaan jokin muu tekijä. Viherrevonhännänkin osalta olisi mielenkiintoista tutkia, millaisissa olosuhteissa kasvu epäonnistuu. Tässä tutkimuksessa ainakin torjunta ja kilpailu yhdessä näyttivät olleen liikaa ja viherrevonhantä ei pystynyt tuottamaan siemeniä – ja tällaiset ovat tavalliset olosuhteet pellolla.

Toisaalta se, kuinka todennäköistä niiden leviäminen täällä olisi, riippuu suuresti siemenpaineesta, joka on erityisen tärkeää siemenpaineen uusille tulokkaille. Satunnaisesti paikalla esiintyville kasveille siemenmateriaalin jatkuva saapuminen muualta on tärkeää populaation säilymisen kannalta. Todellinen tai arvioitu siemenpaine olisikin mielenkiintoinen tutkimuksen kohde tulevaisuudessa.

## 7 KIITOKSET

Ensin kiitokset erikoistutkija Terho Hyvöselle MTT:ltä, että sain työskennellä tämän aiheen parissa ja tutkielman ohjauksesta. Professori Juha Heleniukselle myös kiitokset tutkielman ohjauksesta. Tilastollisia ohjelmia koskevista lukuisista neuvoista kiitokset Helsingin yliopiston Helpdeskin Antti Nevanlinnalle. Kiitokset MTT:lle kesän 2009 kokeiden rahoituksesta ja puitteista. Suuret kiitokset lukuisille henkilöille MTT:ltä, jotka auttoivat minua kokeiden käytännön suorituksessa ja erityiskiitos ”rikkakasvi-tiimin” ihmisille avusta, neuvoista ja myös mukavasta työkaveruudesta.

## 8 LÄHTEET

Auskalniene, O. & Auskalnis, A. 2006. Effect of sulfonylurea herbicides on weeds and maize. *Agronomy Research* 4, Special Issue: 129-132.

Baker, H. 1965. In Baker, H. & Stebbins, G. (eds.). *The genetics of colonizing species*. New York, USA: Academic Press. pp. 147-166.

- Bakkenes, M., Alkemade, J., Ihle, F., Leemans, R. & Latour, J. 2002. Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. *Global Change Biology* 8: 390-407.
- Barrett, S.C.H. & Wilson, B.F. 1983. Colonizing ability in the *Echinochloa crus-galli* complex (barnyard grass). II. Seed biology. *Canadian Journal of Botany*, 61: 556-562.
- Baskin, J. & Baskin, C. 1977. Role of Temperature in the Germination Ecology of Three Summer Annual Weeds. *Oecologia* 30: 377-382.
- Bazzaz, F., Garbutt, K., Reekie, E. & Williams W. 1989. Using growth analysis to interpret competition between a C<sub>3</sub> and a C<sub>4</sub> annual under ambient and elevated CO<sub>2</sub>. *Oecologia* 79: 223-235.
- Bhowmik, P. & Reddy, K. 1988. Effects of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) on growth, yield, and nutrient status of transplanted tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Weed Science* 36: 775-778.
- Black, C., Chen, T., Brown, R. 1969. Biochemical Basis for Plant Competition. *Weed Science* 17: 338-344.
- Blackshaw, R., Lynch, D. & Entz, T. 1995. Postemergence broadleaf weed control in potato (*Solanum tuberosum*) with rimsulfuron and HOE-075032. *Weed Technology* 9: 228-235.
- Bosnic, A. & Swanton, C. 1997. Influence of Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) Time of Emergence and Density on Corn (*Zea mays*). *Weed Science* 45: 276-282.
- Buchanan, G., Street, J. & Crowley, R. 1980. Influence of time of planting and distance from the cotton (*Gossypium hirsutum*) row of pitted morningglory (*Ipomoea lacunosa*), prickly sida (*Sida spinosa*) and redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) on competitiveness with cotton. *Weed Science* 28: 568-572.
- Bunce, J. & Ziska L. 2000. Crop ecosystem responses to climatic change: crop–weed interactions. In Reddy K. & Hodges, H. (eds.). *Climate Change and Global Crop Productivity*. New York, USA: CABI Publishing. pp. 333–352.
- Carter, T. 1998. Changes in the thermal growing season in Nordic countries during the past century and prospects for the future. *Agricultural and Food Science in Finland* 7: 161–179.
- Catford, J., Jansson, R. & Nilsson C. 2009. Reducing redundancy in invasion ecology by integrating hypotheses into a single theoretical framework. *Diversity and Distributions* 15: 22–40.
- Charest, C. & Potvin, C. 1993. Maternally-induced modification of progeny phenotypes in the C<sub>4</sub> weed *Echinochloa crus-galli*: an analysis of seed constituents and performance. *Oecologia* 93: 383-388.
- Chicoine, T., Fay, P. & Nielsen, G. 1985. Predicting Weed Migration from Soil and Climate Maps. *Weed Science* 34: 57-61.

- Chytrý, M., Jarosík, V., Pyšek, P., Hájek, O., Knollova, I., Tichý, L. & Danihelka, J. 2008. Separating habitat invasibility by alien plants from the actual level of invasion. *Ecology* 89: 1541-1553.
- Clay, S., Kleinjan, J., Clay, D., Forcella, F. & Batchelor, W. 2005. Growth and Fecundity of Several Weed Species in Corn and Soybean. *Agronomy Journal* 97: 294-302.
- Coetzer, E., Al-Khatib, K. & Peterson, D. 2002. Glufosinate efficacy on *Amaranthus* species in glufosinate-resistant soybeans. *Weed Technology* 16: 326-331.
- Colautti, R. & MacIsaac, H. 2004. A neutral terminology to define 'invasive' species. *Diversity and Distributions* 10: 134-141.
- Colautti, R., Grigorovich, I. & MacIsaac, H. 2006. Propagule pressure: a null model for biological invasions. *Biological Invasions* 8: 1023-1037.
- Collins, R., & Jones, M. 1985. The influence of climatic factors on the distribution of C4 species in Europe. *Vegetatio* 64: 121-12.
- Costea, M., Weaver, S. & Tardif, F. 2004. The biology of Canadian weeds. 130. *Amaranthus retroflexus* L., *A-powellii* S. Watson and *A-hybridus* L. *Canadian Journal of Plant Science* 84: 631-668.
- Crawley, M., Harvey, P. & Purvis, A. 1996. Comparative ecology of the native and alien floras of the British Isles. *Philosophical Transactions: Biological Sciences* 351: 1251-1259.
- Crawley, M., Brown, S., Heard, M. & Edwards, G. 1999. Invasion-resistance in experimental grassland communities: species richness or species identity? *Ecology Letters* 2: 140-148.
- Davis, M., Grime, J. & Thompson, K. 2000. Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invasibility. *Journal of Ecology* 88: 528-534.
- Davis, M. & Shaw, R. 2001. Range Shifts and Adaptive Responses to Quaternary Climate Change. *Science* 292: 673-679.
- Dawson, J.H. 1965. Competition between Irrigated Sugar Beets and Annual Weeds. *Weeds* 13: 245-249.
- Drebs, A., Nordlund, A., Karlsson, P., Helminen, J. & Rissanen, P. 2002. Climatological statistics of Finland 1971-2000. *Climatic Statistics of Finland* No. 2002:1. Finnish Meteorological Institute, Helsinki.
- Eberlein, C., Whitmore, J., Stanger, C. & Guttieri, M. 1994. Postemergence weed control in potatoes (*Solanum tuberosum*) with rimsulfuron. *Weed Technology* 8: 428-435.
- Ehleringer, J., 1978. Implications of quantum yield differences on the distributions of C3 and C4 grasses. *Oecologia* 31: 255-267.

- Ehleringer, J., Cerling, T. & Helliker, B. 1997. C4 Photosynthesis, Atmospheric CO<sub>2</sub>, and Climate. *Oecologia* 112: 285-299.
- Fennimore, S., Mitich, L. & Radosevich, S. 1984. Interference among bean (*Phaseolus vulgaris*), barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*), and black nightshade (*Solanum nigrum*). *Weed Science* 32: 336-342.
- Ferguson, G., Hamill, A. & Tardif, F. 2001. ALS inhibitor resistance in populations of Powell amaranth and redroot pigweed. *Weed Science* 49: 448-453.
- Forcella, F., Wilson, R., Renner, K., Dekker, J., Harvey, R., Alm, D., Buhler, D. & Cardina, J. 1992. Weed Seedbanks of the U.S. Corn Belt: Magnitude, Variation, Emergence, and Application. *Weed Science*, 40: 636-644.
- Goodwin, B., Allister, A. & Fahrig, L. 1999. Predicting Invasiveness of Plant Species Based on Biological Information. *Conservation Biology* 13: 422-426.
- Grime, J. 1988. The C-S-R model of primary plant strategies: origins, implications, and tests. In: Gottlieb, L. & Jain, S. (eds.). *Plant Evolutionary Biology*. London, UK: Chapman & Hall. pp. 371-393.
- Haas H. & Streibig J. 1982. Changing patterns of weed distribution as a result of herbicide use and other agronomic factors. In: Lebaron, H. & Gressel, J. (eds.). *Herbicide Resistance in Plants*. New York, USA: Wiley & Sons. pp. 57-79.
- Heap, I. 2009. The International survey of Herbicide Resistant Weeds. <http://www.weedscience.org/In.asp>. Viitattu: 30.3.2009.
- Heidari, G., Nasab, A., Javanshir, A., Khoie, F. & Moghaddam, M. 2007. Influence of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) emergence time and density on yield and quality of two sugar beet cultivars. *Journal of Food Agriculture & Environment* 5: 261-266.
- Higgins, S., Lavorel, S. & Revilla, E. 2003. Estimating plant migration rates under habitat loss and fragmentation. *Oikos* 101: 354-366.
- Holm, L., Plucknett, D., Pancho, J. & Herberger, J. 1977. *The world's worst weeds, distribution and biology*. Honolulu, Hawaii, USA: University Press of Hawaii. pp. 32-40, 84-91, 217-224.
- Holm, L., Doll, J., Holm, E. & Herberger, J. 1997. *World weeds: natural histories and distribution*, New York, USA: John Wiley and Sons. pp. 51-67.
- Huang, J., Shrestha, A., Tollenaar, M., Deen, W., Rahimian, H. & Swanton, C. 2000. Effects of photoperiod on the phenological development of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.). *Canadian Journal of Plant Science* 80: 929-938.
- Hutchinson, P., Eberlein, C. & Tonks, D. 2004. Broadleaf weed control and potato crop safety with postemergence rimsulfuron, metribuzin, and adjuvant combinations. *Weed Technology* 18: 750-756.

Hyvönen, T., Gleimnitz, M., Radics, L. & Hoffmann, J. 2011. Impact of climate and land use type on the distribution of Finnish casual arable weeds in Europe. Weed research. Ei julkaistu vielä.

Ilmatieteenlaitos 2010. Ilmastotilastot. <http://ilmatieteenlaitos.fi/saa/tilastot.html>. Viitattu: 10.9.2010.

Jalas, J., Suominen, J., Lampinen, R. 1972-1996. Atlas Florae Europaeae 1999. Committee for Mapping the Flora of Europe and Societas Biologica Fennica Vanamo. Helsinki, Finland.

Jauni, M. & Hyvönen, T. 2010. Invasion level of alien plants in semi-natural agricultural habitats in boreal region. Agriculture, ecosystems and Environment 138: 109-115.

Jongejans, E. & Skarpaas, O. 2007. Establishment and spread of founding populations of an invasive thistle: the role of competition and seed limitation. Biological Invasions 9: 317-325.

Jylhä, K., Tuomenvirta, H. & Ruostenoja, K. 2004. Climate change projections for the 21st century. Boreal Environmental Research 9: 127-152.

Kaukoranta, T. & Hakala, K. 2008. Impact of spring warming on sowing times of cereal, potato and sugar beet in Finland. Agricultural and Food Science 17: 165-176.

Keeley, P. & Thullen, R. 1989. Influence of Planting Date on Growth of Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). Weed Science 37: 557-561.

Kinnunen, S. 2010. Viherrevonhätä ja kananhirssi. Kandidaatin tutkielma. Helsingin yliopiston Maataloustieteen laitos. 28 s. Julkaisematon.

Knezevic, S., Weise, S.F. & Swanton, C.J. 1994. Interference of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) in corn (*Zea mays*). Weed Science 42: 568-573.

Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. & Rubel, F. 2006: World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift 15: 259-263. <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>. Viitattu 6.1. 2011.

Krausz, R., Kapusta, G. & Matthews, J. 1996. Control of annual weeds with glyphosate. Weed Technology 10: 957-962.

Kroh, G. & Stephenson, S. 1980. Effects of Diversity and Pattern on Relative Yields of Four Michigan First Year Fallow Field Plant Species. Oecologia 45: 366-371.

Kropff, M. & Spitters, C. 1991. A simple model of crop loss by weed competition from early observations on relative leaf area of the weeds. Weed Research 31: 97-105.

Lampinen, R. & Lahti, T. 2010: Kasviatlas 2010. Helsingin Yliopisto, Luonnontieteellinen keskusmuseo, Kasvimuseo, Helsinki. <http://www.luomus.fi/kasviatlas>. Viitattu 16.2.2010.

- Lockwood, J., Cassey, P. & Blackburn, T. 2005. The role of propagule pressure in explaining species invasions. *Trends in Ecology & Evolution*, 20: 223–228.
- Lockwood, J., Cassey, P. & Blackburn, T. 2009. The more you introduce the more you get: the role of colonization pressure and propagule pressure in invasion ecology. *Diversity and Distributions* 15: 904-910.
- Long, S. 1983. C4 photosynthesis at low temperatures. *Plant, Cell and Environment* 6: 345-363.
- Mack, R. 1996. Predicting the identity and fate of plant invaders: Emergent and emerging approaches. *Biological Conservation* 78: 107-121.
- Maillet, J. & Lopez-Garzia, C. 2000. What criteria are relevant for predicting the invasive capacity of a new agricultural weed? The case of invasive American species in France. *Weed Research* 40: 11-26.
- Maun, M. & Barrett, S. 1986. The biology of Canadian weeds. 77. *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. *Canadian Journal of Plant Science* 66: 739-759.
- McLachlan, S.M., Tollenaar, M., Swanton, C.J. & Weise, S.F. 1993a. Effect of Corn-Induced Shading on Dry Matter Accumulation, Distribution, and Architecture of Redroot Pigweed (*Amaranthus retroflexus*). *Weed Science* 41: 568-573.
- McLachlan, S.M., Swanton, C.J., Weise, S.F. & Tollenaar, M. 1993b. Effect of Corn-Induced Shading and Temperature on Rate of Leaf Appearance in Redroot Pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.). *Weed Science* 41: 590-593.
- McLachlan, S., Murphy, S., Tollenaar, M., Weise, S. & Swanton, C. 1995. Light limitation of reproduction and variation in the allometric relationship between reproductive and vegetative biomass in *Amaranthus retroflexus* (redroot pigweed). *Journal of Applied Ecology* 32: 157-165.
- McWilliams, E., Landers, R. & Mahlstede, J. 1968. Variation in Seed Weight and Germination in Populations of *Amaranthus Retroflexus* L. *Ecology* 49: 290-296.
- Neilson, R., Pitelka, L. & Solomon A. 2005. Forecasting regional to global plant migration in response to climate change. *BioScience* 55: 749–759.
- Nussbaum, E., Wiese, A., Crutchfield, D., Chenault, E. & Lavake, D. 1985. The Effects of Temperature and Rainfall on Emergence and Growth of Eight Weeds. *Weed Science* 33: 165-170.
- Odum, E., Yoon Park, T. & Hutcheson, K. 1994. Comparison of the weedy vegetation in old-fields and crop fields on the same site reveals that fallowing crop fields does not result in seedbank buildup of agricultural weeds. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 49: 247-252.
- Oryokot, J., Murphy, S., Thomas G. & Swanton, C. 1997. Temperature- and Moisture-Dependent Models of Seed Germination and Shoot Elongation in Green and Redroot Pigweed (*Amaranthus powellii*, *A. retroflexus*). *Weed Science* 45: 488-496.



- Panetta, F. & Mitchell, N. 1991. Homocline analysis and the prediction of weediness. *Weed Research* 31: 273-284.
- Patterson, D. 1995. Weeds in a Changing Climate. *Weed Science* 43: 685-701.
- Patterson, D. & Flint, E. 1980. Potential effects of global atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment on the growth and competitiveness of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> weed and crop plants. *Weed Science* 28:71-75.
- Pearcy, R., Tumosa, N. & Williams, K. 1981. Relationships between Growth, Photosynthesis and Competitive Interactions for a C<sub>3</sub> and a C<sub>4</sub> Plant. *Oecologia* 48: 371-376.
- Pearson, R. & Dawson, T. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology & Biogeography* 12: 361-371.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, J., Hakala, K. & Ojanen, H. 2009. Climate change and prolongation of growing season: changes in regional potential for field crop production in Finland. *Agricultural and Food Science* 18: 171-190.
- Pitelka, L., Gardner, R., Ash, J., Berry, S., Gitay, H., Noble, I., Saunders, A., Bradshaw, R., Brubaker, L., Clark, J., Davis, M., Sugita, S., Dyer, J., Hengeveld, R., Hope, G., Huntley, B., King, G., Lavorel, S., Mack, R., Malanson, G., McGlone, M., Prentice, I. & Rejmanek, M. 1997. Plant migration and climate change. *American Scientist*, 85: 464-473.
- The PLANTS Database 2010. USDA, NRCS. National Plant Data Center, Baton Rouge, LA, USA. <http://plants.usda.gov>. Viitattu 11.10. 2010.
- Potvin, C. & Simon, J. 1989. The evolution of cold temperature adaptation among populations of a widely distributed C<sub>4</sub> weed: barnyard grass. *Evolutionary Trends in Plants* 3: 98-105.
- Potvin, C. 1991. Temperature-induced variation in reproductive success: field and control experiments with the C<sub>4</sub> grass *Echinochloa crus-galli*. *Canadian Journal of Botany* 69: 1577-1582.
- Potvin, C. 1986. Biomass Allocation and Phenological Differences Among Southern and Northern Populations of the C<sub>4</sub> Grass *Echinochloa Crus-Galli*. *The Journal of Ecology* 74: 915-923.
- Prentice, C., Cramer, W., Harrison, S.P. Leemans, R., Monserud R. A. & Allen, M. S. 1992. A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. *Journal of Biogeography* 19: 117-134.
- Purduen yliopiston rikkakasvi-tieteen sivusto. 2010. <http://btny.agriculture.purdue.edu/herbsel/index.cfm>. Viitattu 11.10. 2010.
- Pysek, P. 1998. Is There a Taxonomic Pattern to Plant Invasions? *Oikos* 82: 282-294.

Pysek, P., Jarosik, V., Chytrý, M., Kropáč, Z., Tichý, L. & Wild, J. 2005. Alien plants in temperate weed communities: prehistoric and recent invaders occupy different habitats. *Ecology* 86: 772-785.

Rejmánek, M. & Richardson, D.M. 1996. What attributes make some plant species more invasive? *Ecology* 77: 1655-1661.

Richardson, D., Pysek, P., Rejmánek, M., Barbour, M., Panetta, F. & West, C. 2000. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions* 6: 93-107.

Roush, M. & Radosevich, S. 1985. Relationships between growth and competitiveness of four annual weeds. *Journal of Applied Ecology* 22: 895-905.

Roy, S., Simon, J-P. & Lapointe F-J. 2000. Determination of the origin of the cold-adapted populations of barnyard grass (*Echinochloa crus-galli*) in eastern North America: a total-evidence approach using RAPD DNA and DNA sequences. *Canadian journal of botany* 78: 1505-1513.

Saskatchewanin osavaltion maatalous-sivusto. 2010. Saskatchewan, Kanada. <http://www.agriculture.gov.sk.ca/Default.aspx?DN=303f33a1-57ce-41b5-a285-9edaf3356a8f>. Viitattu 11.10.2010

Sauer, J. 1967. The Grain Amaranths and Their Relatives: A Revised Taxonomic and Geographic Survey. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 54: 103-137.

Schroeder, D., Schaerer, H. & Stinson, C. 1993. A European weed survey in 10 major crop systems to identify targets for biological control. *Weed Research* 33: 449-458.

Shantz, H. & Piemeisel, L. 1927. The Water Requirement of Plants at Akron, Colo. *Journal of Agricultural Research* 34: 1093-1190.

Shrestha, A. & Swanton, C. 2007. Parameterization of the phenological development of select annual weeds under noncropped field conditions. *Weed Science* 55: 446-454.

Spitters, C., Kropff, M. & de Groot, W. 1989. Competition between maize and *Echinochloa crus-galli* analysed by a hyperbolic regression model. *Annals of Applied Biology* 115: 541-551.

Stowe, L. & Teeri, J. 1978. The geographic distribution of C4 species of the Dicotyledonae in relation to climate. *American Naturalist* 112: 609-623.

Studia maailmankartasto 1996, Suomi: Weilin-Göös. ss. 9 ja 133.

Swanton, C., Chandler, K., Elmes, M., Murphy, S. & Anderson, G. 1996. Postemergence Control of Annual Grasses and Corn (*Zea mays*) Tolerance Using DPX-79406. *Weed Technology* 10: 288-294.

Swanton, C., Huang, J., Shrestha, A., Tollenaar, M., Deen, W. & Rahimian, H. 2000. Effects of Temperature and Photoperiod on the Phenological Development of Barnyardgrass. *Agronomy Journal* 92: 1125-1134.

- Sweat, J., Horak, M., Peterson, D., Lloyd, R. & Boyer, J. 1998. Herbicide efficacy on four *Amaranthus* species in soybean (*Glycine max*). *Weed Technology* 12: 315–321.
- Talbert, R. & Burgos N. 2007. History and management of herbicide-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in Arkansas rice. *Weed Technology* 21: 324–331.
- Teeri, J. & Stowe, L. 1976. Climatic Patterns and the Distribution of C<sub>4</sub> Grasses in North America. *Oecologia* 23: 1–12.
- Tenhunen, J. 1982. The Diurnal Course of Leaf Gas Exchange of the C<sub>4</sub> Species *Amaranthus retroflexus* under Field Conditions in a 'Cool' Climate: Comparison with the C<sub>3</sub> Species *Glycine max* and *Chenopodium album*. *Oecologia* 53: 310–316.
- Tukes 2011. Kasvinsuojeluainerekisteri. [https://kasvinsuojeluaineet.tukes.fi/Turvallisuus-ja\\_kemikaalivirasto](https://kasvinsuojeluaineet.tukes.fi/Turvallisuus-ja_kemikaalivirasto). Viitattu 6. 1. 2011.
- Vangessel, M. & Renner, K. 1990. Redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) and barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) interference in potatoes (*Solanum tuberosum*). *Weed Science* 38: 338–343.
- Warwick, S. & Weaver, S. 1980. Atrazine resistance in *Amaranthus retroflexus* (redroot pigweed) and *A. powellii* (greenpigweed) from southern Ontario. *Canadian Journal of Plant Science* 60:1485–1488.
- Weaver, S. & McWilliams, E. 1980. The biology of Canadian weeds. 44. *Amaranthus retroflexus* L., *A. powellii* S. Wats. and *A. hybridus* L. *Canadian Journal of Plant Science* 60: 1215–1234.
- Weaver, S. 1984. Differential growth and competitive ability of *Amaranthus retroflexus*, *A. powellii* and *A. hybridus*. *Canadian Journal of Plant Science* 64: 715–724.
- Vengris, J., Kacperska-Palacz, A. & Livingston, R. 1966. Growth and Development of Barnyardgrass in Massachusetts. *Weeds* 14: 299–301.
- Wiese, A. & Binning, L. 1987. Calculating the Threshold Temperature of Development for Weeds. *Weed Science* 35: 177–179.
- Wiese, A. & Vandiver, C. 1970. Soil Moisture Effects on Competitive Ability of Weeds. *Weed Science* 18: 518–51.
- Vila, M., Pino, J. & Font, X. 2007. Regional assessment of plant invasions across different habitat types. *Journal of Vegetation Science* 18: 35–42.
- Von der Lippe, M. & Kowarik, I. 2007. Long-Distance Dispersal of Plants by Vehicles as a Driver of Plant Invasions. *Conservation Biology* 21: 986–996.
- Woodward, F. & Williams B. 1987. Climate and plant distribution at global and local scales. *Vegetatio* 69: 189–197.

Woodward, F. 1988. Temperature and the distribution of plant species. In Long, S. & Woodward, F. (eds.). *Plants and temperature*. Cambridge, UK: The Company of Biologists Ltd., Univ. of Cambridge. pp. 59-75.

Ylhäisi J., Tietäväinen, H., Peltonen-Sainio, P., Venäläinen, A., Eklund, J., Räisänen, J. & Jylhä, K. 2010. Growing season precipitation in Finland under recent and projected climate. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 10: 1563-1574.

Zangerl, A. & Bazzaz, F. 1984. The response of plants to elevated CO<sub>2</sub>. II. Competitive interactions among annual plants under varying light and nutrients. *Oecologia* 62: 412-417.

